



REPUBLIK INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201814054, 28 Mei 2018

## Pencipta

Nama : **Husamah, Abdulkadir Rahardjanto, , dkk**  
Alamat : RT/RW 042/009 Perum IKIP Tegalondo Asri 2C/4 Desa Tegalondo Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur, 65152  
Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Husamah, Abdulkadir Rahardjanto, , dkk**  
Alamat : RT/RW 042/009 Perum IKIP Tegalondo Asri 2C/4 Desa Tegalondo Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur, 65152  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Jenis Ciptaan : **Buku**  
Judul Ciptaan : **Ekologi Hewan Tanah (Teori Dan Prakti)**  
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 Desember 2017, di Kota Malang  
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.  
Nomor pencatatan : 000109553

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.  
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.  
NIP. 196611181994031001

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Husamah	RT/RW 042/009 Perum IKIP Tegalgondo Asri 2C/4 Desa Tegalgondo Kecamatan Karangploso
2	Abdulkadir Rahardjanto	Pondok Bestari Indah C. 5/265 RT/RW 002/0111 Desa Landungsari Kecamatan Dau
3	Drs. H. Atok Miftachul Hudha, M.Pd.	Jl. Sarimun RT/RW 003/003 Desa Beji Kecamatan Junrejo

LAMPIRAN PEMEGANG

No	Nama	Alamat
1	Husamah	RT/RW 042/009 Perum IKIP Tegalgondo Asri 2C/4 Desa Tegalgondo Kecamatan Karangploso
2	Abdulkadir Rahardjanto	Pondok Bestari Indah C. 5/265 RT/RW 002/0111 Desa Landungsari Kecamatan Dau
3	Drs. H. Atok Miftachul Hudha, M.Pd.	Jl. Sarimun RT/RW 003/003 Desa Beji Kecamatan Junrejo





Indonesia memiliki keanekaragaman hayati terbesar kedua di dunia setelah Brasilia. Keanekaragaman hayati itu bisa saja menjadi potensi bagi kesejahteraan hidup masyarakatnya jika digali, diketahui potensinya, dan dikembangkan. Namun juga bisa jadi keanekaragaman hayati itu tidak memiliki arti apa-apa jika tidak dikaji potensinya, pemanfaatannya, dan sekaligus pelestariannya. Tuhan tidak menjadikan sesuatu apapun di muka bumi ini dengan sia-sia, semua pasti memiliki manfaat masing-masing. Salah satu yang belum banyak mendapat perhatian adalah menyangkut hewan tanah.

Hewan tanah merupakan salah satu unsur penting dalam tanah. Berbicara tentang hewan tanah berarti berbicara tentang ekologi hewan tanah. Oleh karena itu, konsep ekologi hewan tanah berperan demikian penting tidak hanya pada masa lalu, namun juga pada masa sekarang dan masa yang akan datang. Bahan ajar tentang ekologi hewan tanah dirasakan masih kurang dan bahkan langka bagi mahasiswa terutama bagi mereka yang tertarik untuk mengkaji lebih lanjut. Oleh karena itu, hasil-hasil penelitian dan kajian terbaru terkait Ekologi Hewan Tanah sangat perlu disebarluaskan. Buku ini merupakan hasil pengembangan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan.

Buku berjudul Ekologi Hewan Tanah (Teori dan Praktik) ini ditulis untuk memperkaya pemahaman dan wawasan mahasiswa, khususnya mahasiswa S1 Pendidikan Biologi. Buku ini difokuskan untuk mendukung pencapaian kemampuan akhir yang direncanakan dalam mata kuliah, yaitu (1) "menganalisis struktur komunitas hewan tanah", (2) "mendesain proposal proyek implementasi metode dan teknik dasar ekologi untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data ekologi sebagai upaya memecahkan masalah ekologis/lingkungan hidup", dan juga (3) "memahami konsep habitat, mikrohabitat, dan relung ekologi".

Dengan demikian, buku ini akan melengkapi buku ajar yang selama ini telah digunakan oleh mahasiswa (yang disusun oleh rekan sejawat lainnya). Namun, tidak menutup kemungkinan dalam perkembangannya, buku ini dapat dijadikan buku pengayaan oleh mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi, baik mahasiswa pendidikan biologi, biologi, pertanian, kehutanan, dan ilmu lingkungan. Meskipun sebagian besar mahasiswa telah memperoleh pembelajaran biologi atau ekologi, keterkaitan biologi dan ekologi dengan tanah dan hewan tanah bisa jadi merupakan hal baru bagi mereka. Selama ini kajian ekologi hewan hanya terbatas pada hewan-hewan di atas tanah dan hewan-hewan besar, sementara hewan yang hidupnya di tanah cenderung ditinggalkan atau diabaikan.

ISBN 978-979-796-325-5



Kritik dan saran mengenai buku ini via email: [ummprss@gmail.com](mailto:ummprss@gmail.com)

Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang

Husamah  
Abdulkadir Rahardjanto  
Atok Miftachul Hudha

Ekologi Hewan Tanah  
(TEORI DAN PRAKTIK)

# EKOLOGI HEWAN TANAH

(TEORI DAN PRAKTIK)

Husamah  
Abdulkadir Rahardjanto  
Atok Miftachul Hudha





# **EKOLOGI HEWAN TANAH**

## **(Teori dan Praktik)**

Husamah  
Abdulkadir Rahardjanto  
Atok Miftachul Hudha



Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang

# **EKOLOGI HEWAN TANAH**

## **(Teori dan Praktik)**

---

Hak Cipta © Husamah, Abdulkadir Rahardjanto, Atok Miftachul H., 2017  
Hak Terbit pada UMM Press

---

Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang  
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144  
Telepon: 0877 0166 6388, (0341) 464318 Psw. 140  
Fax. (0341) 460435  
E-mail: [ummpress@gmail.com](mailto:ummpress@gmail.com)  
<http://ummpress.umm.ac.id>  
Anggota APPTI (Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia)  
Anggota IKAPI (Ikatan Penerbit Indonesia)

---

Cetakan Pertama, Desember 2017

---

ISBN : 978-979-796-325-5

---

xii; 166 hlm.; 16 x 23 cm

---

Setting & Layout : Bellia Nanda

Design Cover : Andi Firmansah

Cover Image : [www.wisegEEK.com](http://www.wisegEEK.com)

---

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit. Pengutipan harap menyebutkan sumbernya.

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113  
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014  
tentang Hak Cipta**

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# KATA PENGANTAR

**I**ndonesia memiliki keanekaragaman hayati terbesar kedua di dunia setelah Brasilia. Keanekaragaman hayati itu bisa saja menjadi potensi bagi kesejahteraan hidup masyarakatnya jika digali, diketahui potensinya, dan dikembangkan. Namun juga bisa jadi keanekaragaman hayati itu tidak memiliki arti apa-apa jika tidak dikaji potensinya, pemanfaatannya, dan sekaligus pelestariannya. Tuhan tidak menjadikan sesuatu apapun di muka bumi ini dengan sia-sia, semua pasti memiliki manfaat masing-masing. Salah satu yang belum banyak mendapat perhatian adalah menyangkut hewan tanah.

Hewan tanah merupakan salah satu unsur penting dalam tanah. Berbicara tentang hewan tanah berarti berbicara tentang ekologi hewan tanah. Oleh karena itu, konsep ekologi hewan tanah berperan demikian penting tidak hanya pada masa lalu, namun juga pada masa sekarang dan masa yang akan datang. Bahan ajar tentang ekologi hewan tanah dirasakan masih kurang dan bahkan langka bagi mahasiswa terutama bagi mereka yang tertarik untuk mengkaji lebih lanjut. Oleh karena itu, hasil-hasil penelitian dan kajian terbaru terkait Ekologi Hewan Tanah sangat perlu disebarluaskan. Buku ini merupakan hasil pengembangan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan.

Buku berjudul *Ekologi Hewan Tanah (Teori dan Praktik)* ini ditulis untuk memperkaya pemahaman dan wawasan mahasiswa, khususnya mahasiswa S1 Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang. Buku ini difokuskan untuk mendukung pencapaian kemampuan akhir yang direncanakan dalam mata kuliah Ekologi khususnya Sub-CPMK L13: Menganalisis struktur komunitas hewan tanah dan L14: Mendesain proposal proyek implementasi metode dan teknik dasar ekologi untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data ekologis sebagai upaya memecahkan masalah ekologis/lingkungan



hidup. Buku ini juga memperkaya Sub-CPMK L3: Memahami konsep habitat, mikrohabitat, dan relung ekologi. Dengan demikian, buku ini akan melengkapi buku ajar yang selama ini telah digunakan oleh mahasiswa (yang disusun oleh rekan sejawat lainnya). Namun, tidak menutup kemungkinan dalam perkembangannya, buku ini dapat dijadikan buku pengayaan oleh mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi, baik mahasiswa pendidikan biologi, biologi, pertanian, kehutanan, dan ilmu lingkungan. Meskipun sebagian besar mahasiswa telah memperoleh pembelajaran biologi atau ekologi, keterkaitan biologi dan ekologi dengan tanah dan hewan tanah bisa jadi merupakan hal baru bagi mereka. Selama ini kajian ekologi hewan hanya terbatas pada hewan-hewan di atas tanah dan hewan-hewan besar, sementara hewan yang hidupnya di tanah cenderung ditinggalkan atau diabaikan.

Materi yang ada dalam buku dikelompokkan dalam 7 Bab. Bab 1 tentang Pendahuluan (Subbab A. Latar Belakang Penyusunan Buku, B. Batasan Kajian Ekologi Hewan Tanah, C. Pengertian Ekologi dan Ekologi Hewan Tanah, dan D. Sejarah Perkembangan Ekologi). Bab 2 tentang Tanah Sebagai Habitat (Subbab A. Konsep Habitat, B. Sifat dan Karakteristik Tanah, C. Tanah Sebagai Habitat Hewan, dan D. Faktor Abiotik Tanah). Bab 3 tentang Hewan Tanah (Subbab A. Klasifikasi Hewan Tanah, B. Uraian Contoh Hewan Tanah Penting, dan C. Peranan Hewan Tanah). Bab 4 tentang Kajian Fungsi Hewan Tanah (Subbab A. Peran Hewan Tanah Secara Umum dan B. Hewan tanah Sebagai Bioindikator). Bab 5 tentang Struktur Komunitas Hewan Tanah (Subbab A. Konsep Struktur Komunitas dan B. Parameter Struktur Komunitas). Bab 6 tentang Pengamatan Hewan Tanah (Subbab A. Pengamatan Struktur Komunitas Hewan Tanah, B. Pengelolaan Spesimen Hewan Tanah, dan C. Contoh Praktikum Pengamatan Hewan Tanah). Bab 7 tentang Konservasi Tanah untuk Melindungi Hewan (Subbab A. Definisi dan Maksud Konservasi Tanah, B. Teknik Manipulasi Vegetasi, dan C. Pertanian Organik).

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penelaah buku ini, baik dari segi bahasa, materi, dan kesesuaian sebagai bahan ajar, yaitu. Dr. Arif Budi Wuriyanto, M.Si. dan Dr. Ainur Rofieq, M.Kes. Terima kasih pula kepada Dr. Fatchur Rohman, M.Si, Dr. Hedi Sutomo, SU., Alm. Dr. Kusmintardjo, dan Prof. Dr. Agr. Mohamad Amin, S.Pd., M.Si. (Pascasarjana UM) dan Dr. Yuni Pantiwati, M.Pd

(Pendidikan Biologi UMM) yang berkenan menyempatkan diri menelaah dan memberikan masukan terhadap penyusunan buku ini.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada institusi tempat penulis mengabdikan Universitas Muhammadiyah Malang, Pimpinan Universitas, dan DPPM UMM (yang telah mendanai penyusunan buku ini, menelaah, dan melakukan scan plagiasi), serta Pimpinan FKIP dan Bapak/Ibu Dosen di Prodi Pendidikan Biologi atas segala dorongan aktualisasi diri. Tak lupa pula terima kasih kami sampaikan kepada keluarga besar kami (orang tua, istri, anak), Penerbit UMM Press yang banyak membantu penerbitan buku ini, tim Pusat Studi Lingkungan dan Kependudukan (PSLK-UMM) dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang tentu saja sumbangsinya sangat besar dalam penyusunan buku ini.

Buku ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang konstruktif dari para pembaca demi kebaikan penulisan modul ini dan kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Malang, November 2017

**Tim Penulis**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Tabel</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Gambar</b>	<b>xi</b>
<b>Bab 1 Pendahuluan</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Penulisan Buku	1
B. Batasan Kajian Ekologi Hewan Tanah	5
C. Pengertian Ekologi dan Ekologi Hewan Tanah	9
D. Sejarah Perkembangan Ekologi	13
<b>Bab 2 Tanah Sebagai Habitat</b>	<b>19</b>
A. Konsep Habitat	19
B. Sifat dan Karakteristik Tanah	22
C. Tanah Sebagai Habitat Hewan	23
D. Faktor Abiotik Tanah	26
<b>Bab 3 Hewan Tanah</b>	<b>35</b>
A. Klasifikasi Hewan Tanah	35
B. Uraian Contoh Hewan Tanah Penting	41
<b>Bab 4 Kajian Fungsi Hewan Tanah</b>	<b>51</b>
A. Peran Hewan Tanah Secara Umum	51
B. Hewan Tanah Sebagai Bioindikator	57

<b>Bab 5 Struktur Komunitas Hewan Tanah</b>	<b>71</b>
A. Konsep Struktur Komunitas	71
B. Parameter Struktur Komunitas	72
 <b>Bab 6 Pengamatan Hewan Tanah</b>	 <b>83</b>
A. Pengamatan Struktur Komunitas Hewan Tanah	83
B. Pengelolaan Spesimen Hewan Tanah	95
C. Contoh Praktikum Pengamatan Hewan Tanah	103
 <b>Bab 7 Konservasi Tanah Untuk Melindungi Hewan Tanah</b>	 <b>117</b>
A. Definisi dan Maksud Konservasi Tanah	117
B. Teknik Manipulasi Vegetasi	120
C. Pertanian Organik	133
 <b>Daftar Pustaka</b>	 <b>137</b>
<b>Glosarium</b>	<b>153</b>
<b>Indeks</b>	<b>159</b>
<b>Biografi Penulis</b>	<b>163</b>

## DAFTAR TABEL

2.1. Parameter Fisika-Kimia Kesuburan Tanah dan Metode Analisisnya	28
4.1. Peranan Hewan Tanah Terhadap Sifat Tanah dalam Ekosistem	54
4.2. Fungsi Utama dan Grup Hewan Tanah yang Berperan	64
5.1. Contoh Hipotesis Jumlah Individu dari Beberapa Jenis di Dua Habitat Berbeda	79
6.1. Pengukuran Faktor Lingkungan Abiotik	94
7.1. Jenis Tanaman Pohon Berumur Panjang	121
7.2. Jenis Tanaman Memiliki Sifat Tumbuh Cepat dan Multiguna	122
7.3. Jenis Tanaman Pohon Berumur Sedang	123

## DAFTAR GAMBAR

1.1. Posisi Ekologi Tumbuhan dalam Organisasi Biologi	13
3.1. Contoh Acarina di Tanah	42
3.2. Struktur Tubuh Collembola	43
3.3. Siklus Hidup Coleoptera	45
3.4. Morfologi Coleoptera	45
3.5. Penggolongan dan Morfologi Centipede	46
3.6. Morfologi Hymenoptera secara Umum	47
3.7. Cacing Dewasa; Tangan Harus Selalu dalam Keadaan Lembab pada Saat Identifikasi Cacing Tanah	49



4.1. Representasi Skematik Dampak Polutan Terhadap Sistem Biologi	58
4.2. Skema Hubungan antara Faktor Lingkungan dengan Parameter Biologi	61
4.3. Skema Pengaruh Intesifikasi Pertanian Terhadap Biodiversitas Tanah	63
6.1. Corong Barlese Tullgren	89
6.2. Contoh Pemasangan Perangkap Jebak	90
6.3. Preparat Mikrofauna Tanah untuk Diidentifikasi dengan Pengamatan di Bawah Mikroskop	93

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Penulisan Buku

**P**engembangan atau penyusunan buku ini setidaknya dilatarbelakangi oleh 2 hal pokok, yaitu terkait dengan status atau potensi keanekaragaman hayati Indonesia dan kondisi pembelajaran ekologi hewan di perguruan tinggi, khususnya di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM.

#### 1. Potensi Keanekaragaman Hayati

Indonesia dianugerahi sebagai negara yang memiliki *megabiodiversity*, keanekaragaman hayati yang sangat besar. Besarnya keanekaragaman hayati itu belumlah menjadi pengetahuan dan kesadaran kolektif anak bangsa sehingga pengelolaan dan pemanfaatan tidak berorientasi lestari (*sustainability*). Menurut Prijono (2012) perkiraan keanekaragaman jenis global sekitar 5-30 juta jenis, dan baru sekitar 1,78 juta jenis flora, fauna, dan mikroba yang diberi nama. Keadaan ini membawa kita berpikir bagaimana tetap melestarikan keanekaragaman yang masih ada dan berupaya mengurangi laju kepunahan serta mempercepat pengungkapan kekayaan dan potensi keanekaragaman hayati yang masih tersisa sebelum punah. Salah satu kelompok binatang yang jarang dikenal tetapi mempunyai peran besar dalam ekosistem adalah hewan tanah.

Alih fungsi hutan atau lahan hijau di sepanjang DAS (khususnya di daerah hulu) dan di berbagai daerah menjadi lahan pertanian dan pemukiman umumnya berakibat terhadap perubahan struktur komunitas dan penurunan keanekaragaman jenis/spesies. Apabila hal ini terjadi dalam secara terus menerus akan dapat memunculkan dampak yang sangat merugikan, yaitu penurunan keanekaragaman bahkan punahnya jenis hewan dan tumbuhan. Aktivitas alih fungsi lahan tersebut pun secara nyata akan memberi dampak terhadap penurunan

kesuburan tanah. Alih fungsi lahan secara massif dan terus-menerus akan menggerus ketersediaan hara tanah dan menyebabkan penurunan produktivitas. Kondisi demikian mengakibatkan rusaknya kondisi fisika, kimia, dan biologi tanah sehingga kesuburan tanah akan semakin menurun.

Deteksi dini kesuburan dan kesehatan tanah dapat dilakukan salah satunya menggunakan indikator suatu organisme yang menempati habitat tertentu yang dapat tanggap terhadap adanya dinamika atau perubahan lingkungan. Suatu organisme yang dapat memberikan respons, indikasi, peringatan dini atau representasi dari kondisi, dan perubahan yang terjadi pada lingkungan disebut bioindikator (Fadila *et al*, 2009; Zhelyazkova, 2012; Valon *et al*, 2013). Menurut Doran & Zeiss (2000), terdapat 5 kriteria yang harus dipenuhi oleh suatu indikator termasuk bioindikator untuk dapat menilai kualitas tanah, yaitu 1) sensitif terhadap variasi pengelolaan, 2) berkorelasi baik dengan fungsi tanah yang menguntungkan, 3) dapat digunakan dalam menguraikan proses-proses di dalam ekosistem, 4) dapat dipahami dan berguna untuk pengelolaan lahan, dan 5) mudah diukur dan tidak mahal.

Beberapa studi terakhir menunjukkan bahwa mesofauna memperlihatkan respon yang mengindikasikan tingkat kerusakan lingkungan habitatnya. Sifat tersebut menyebabkan mesofauna berpotensi untuk menjadi bioindikator atas kondisi habitat khususnya kesuburan tanah. Salah satu organisme indikator yang potensial dicermati dan termasuk dalam kelompok mesofauna misalnya Collembola (ekor pegas/*springtail*). Collembola dapat dijumpai di banyak habitat dan pada umumnya berukuran mini, ada yang berukuran makroskopis dan banyak pula yang mikroskopis. Kelompok ini jarang dikenal karena ukurannya yang kecil, padahal perannya dalam ekosistem cukup besar. Belum banyak diketahui bahwa kelompok hewan ini mempunyai keanekaragaman jenis cukup tinggi (Suhardjono *et al*, 2012; Suheriyanto, 2012).

Collembola tanah sebagai satu contoh komunitas organisme yang sebagian besar siklus kehidupannya dihabiskan di tanah (baik dibagian atas/permukaan maupun bagian lebih dalam) mempunyai fungsi vital sebagai subsistem konsumen dan subsistem dekomposisi (Rohyani, 2012; Suhardjono *et al*, 2012). Kelompok ini juga merupakan kelompok terbesar dari kelompok hewan tanah lainnya (Suheriyanto, 2012). Collembola sangat sensitif terhadap dinamika lingkungan, memiliki waktu pergiliran keturunan lebih panjang dibanding mikroba metabolik aktif,



lebih stabil dan tidak mudah berfluktuasi akibat perubahan hara tiba-tiba sehingga cukup baik sebagai bioindikator tanah (Pribadi, 2009).

Kehidupan hewan tanah sangat tergantung pada habitatnya, karena keberadaan dan kepadatan populasi suatu jenis hewan tanah di suatu daerah sangat ditentukan oleh keadaan daerah tersebut. Struktur komunitas hewan tanah di suatu tipe habitat sangat tergantung dari faktor lingkungan, yaitu lingkungan biotik dan lingkungan abiotik. Kombinasi unsur lingkungan biotik dan lingkungan abiotik tersebut memberi dampak berbeda-beda pada setiap spesies ataupun kelompok hewan tanah, baik menguntungkan atau merugikan. Masing-masing tipe habitat memiliki kombinasi atau perangkat unsur yang berbeda (Suhardjono *et al.*, 2012).

Hewan tanah merupakan bagian dari ekosistem tanah. Oleh karena itu, mempelajari ekologi hewan tanah faktor fisika-kimia tanah selalu diukur. Suhu dan kelembaban atau kadar air tanah merupakan faktor fisika tanah yang sangat menentukan kehadiran dan kepadatan organisme tanah karena suhu tanah akan menentukan tingkat dekomposisi material organik tanah. Fluktuasi suhu tanah lebih rendah dari suhu udara, dan suhu tanah sangat tergantung dari suhu udara. Suhu dan kadar air tanah lapisan atas mengalami fluktuasi dalam satu hari satu malam dan tergantung musim (Suin, 2012). Pengukuran pH tanah juga sangat diperlukan dalam melakukan penelitian mengenai hewan tanah. Suin (2012), menyebutkan bahwa ada hewan tanah yang hidup pada tanah yang pH-nya asam dan ada pula hidup pada tanah yang memiliki pH basa. Menurut Sinamo (2010) faktor kimia berupa unsur hara makro tanah juga penting untuk diketahui yaitu C-organik.

## **2. Kondisi Pembelajaran**

Lingkungan hidup merupakan karunia atau anugerah Tuhan Yang Maha Kuasa berupa kesatuan ekosistem alami yang utuh, serasi, dan kompleks, sehingga berbagai kekayaan sumber daya alam yang ada di dalamnya perlu dilindungi dan diurus dengan sebaik-baiknya. Demikian pula dengan hewan tanah, harus disadari sebagai karunia Tuhan Yang Maha Kuasa sehingga perlu senantiasa dilestarikan (Supriatna, 2013). Terkait hal tersebut, seiring dinamika kehidupan masyarakat dan tuntutan yang mendorong dunia pendidikan untuk beradaptasi dan tuntutan dinamisasi kurikulum pendidikan tinggi (universitas,

khususnya LPTK), maka dibutuhkan adanya penyusunan buku yang sesuai kondisi atau perkembangan zaman, dekat kepada kehidupan mahasiswa, dan memberi pemahaman mengenai dinamika lingkungan secara alami (Pary, 2010). Pengembangan dan penyusunan buku tersebut juga berlaku untuk kajian “mata kuliah ekologi”.

Ekologi wajib ditempuh atau dipelajari oleh para calon guru di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM dengan kajian materi yang sangat luas. Selama ini, mahasiswa hanya diberikan materi tentang ekologi yang tidak kontekstual dan aplikatif. Pembelajaran selama ini pun tidak mempelajari hewan tanah (Sukarsono, 2012a; Sukarsono, 2012b). Hal ini tentu tidak sejalan dengan prinsip pembelajaran biologi yang harus dilaksanakan untuk mengembangkan pemberdayaan berpikir (*habits of mind*) atau berpikir tingkat tinggi (*high order thinking skills/HOTS*) termasuk di dalamnya kemampuan berpikir kritis (*critical thinking*), berpikir kreatif (*creative thinking*), dan metakognitif. Hal ini juga berpikir induktif dan deduktif untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan peristiwa alam sekitar (Depdiknas, 2006; Pary, 2010; Husamah & Pantiwati, 2014).

Pengembangan materi terkait hewan tanah juga harus dilakukan mengingat dalam Rencana Pembelajaran Semester (RPS) mata kuliah Ekologi versi terbaru yang sesuai dengan Kurikulum Perguruan Tinggi (KPT) yang telah diberlakukan di Prodi Pendidikan Biologi FKIP-UMM, kajian ini telah dimunculkan karena dirasa penting untuk memperkaya kompetensi mahasiswa (Sukarsono *et al.*, 2017). Buku ini difokuskan untuk mendukung pencapaian kemampuan akhir yang direncanakan dalam mata kuliah Ekologi khususnya Sub-CPMK L13: Menganalisis struktur komunitas hewan tanah dan L14: Mendesain proposal proyek implementasi metode dan teknik dasar ekologi untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data ekologi sebagai upaya memecahkan masalah ekologis/lingkungan hidup. Buku ini juga memperkaya Sub-CPMK L3: Memahami konsep habitat, mikrohabitat, dan relung ekologi. Oleh karena itu, buku yang diperkaya dengan teknik pengamatan dan pengambilan data penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber belajar atau bahan ajar sehingga memberikan informasi baru, informasi kontekstual bagi mahasiswa, dan memenuhi berbagai tantangan masa depan.

Buku ini diharapkan dapat memperkaya wawasan mahasiswa sehingga mudah mempelajari struktur komunitas hewan tanah di

berbagai lokasi. Adanya buku yang disusun oleh peneliti diharapkan dapat memberikan sumbangan berharga dalam pengembangan ilmu, sehingga mahasiswa memiliki kompetensi yang utuh. Buku yang dikembangkan ini diharapkan dapat memberikan sumbangan berharga dalam kajian ekologi hewan, sehingga mahasiswa memiliki kepekaan untuk menjaga keberlangsungan fungsi ekosistem (misalnya daerah aliran sungai [DAS], kawasan pertanian/agroekosistem, ruang terbuka hijau yang ramah terhadap kehidupan hewan tanah, *urban farming*), melestarikan hewan tanah, melestarikan hutan, menerapkan pola pertanian berkelanjutan, dan menerapkan pola pemukiman yang ramah terhadap lingkungan. Buku ini akan semakin memperkaya pemahaman konsep, HOTS, dan keterampilan proses mahasiswa (sebagai penguatan aspek psikomotorik) sebagai bekal terjun mengajar serta menjadi inspirasi melakukan penelitian untuk mengungkap khasanah keanekaragaman hayati Indonesia.

## **B. Batasan Kajian Ekologi Hewan Tanah**

Tanah tidak dapat hanya dipandang berdasarkan pendekatan Geologis, yaitu sebagai lapisan permukaan bumi yang berasal dari bebatuan yang telah mengalami serangkaian pelapukan oleh gaya-gaya alam, sehingga membentuk regolit (lapisan partikel halus). Tanah tidak dapat pula hanya dipandang berdasarkan pendekatan Pedologi, yaitu sebagai bahan padat yang terletak dipermukaan bumi, yang telah dan sedang serta terus mengalami perubahan akibat pengaruh faktor-faktor bahan induk, iklim, organisme, topografi, dan waktu. Demikian pula, tanah tidak dapat hanya dipandang berdasarkan pendekatan Edapologi, yaitu sebagai tempat tumbuh tanaman dan tubuh alam yang berasal dari hancuran batuan dan bahan organik. Tanah dapat lebih dianggap sebagai suatu komunitas yang hidup, daripada sebagai tubuh alam yang statis atau tak berdaya.

Menurut Suripin (2002) tanah juga harus dipandang sebagai sebuah sistem yang memiliki 3 fungsi, yaitu fungsi fisik, kimia, dan biologi. Fungsi tanah secara fisik adalah sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran sebagai penopang tumbuh tegaknya tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan hara ke akar tumbuhan. Fungsi tanah secara kimiawi adalah sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi (baik berupa senyawa organik maupun anorganik sederhana dan unsur-

unsur esensial, seperti: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, dan Cl). Fungsi tanah secara biologi sebagai habitat dari organisme tanah yang turut berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif bagi tanaman. Integritas dari ketiganya (fisik, kimiawi, dan biologi) secara integral mampu menunjang produktivitas tanah dalam artian secara luas. Sampai pada uraian ini maka keterlibatan ekologi menjadi mutlak sehingga muncullah kajian ekologi untuk hewan-hewan yang habitatnya di tanah, kemudian di kenal dengan ekologi hewan tanah.

Setiap organisme di muka bumi menempati habitatnya masing-masing. Suatu habitat memiliki lebih dari satu jenis organisme dan semuanya berada dalam satu komunitas. Komunitas menyatu dengan lingkungan abiotik dan membentuk suatu ekosistem yang di dalamnya hewan berinteraksi dengan lingkungan biotik, yaitu hewan lain, tumbuhan serta mikroorganisme lainnya. Interaksi tersebut dapat terjadi antar individu, antar populasi, dan antar komunitas. Interaksi tersebut merupakan fungsi ekologis dari suatu ekosistem.

Tanah merupakan suatu bagian dari ekosistem terrestrial (daratan) yang di dalamnya dihuni oleh banyak organisme yang disebut sebagai biodiversitas tanah. Biodiversitas tanah merupakan diversitas alpha yang sangat berperan dalam mempertahankan sekaligus meningkatkan fungsi tanah untuk menopang kehidupan di dalam dan di atasnya. Pemahaman tentang biodiversitas tanah masih sangat terbatas, baik dari segi taksonomi maupun fungsi ekologinya (Hagvar, 1998). Tanah merupakan suatu sistem kehidupan yang kompleks yang mengandung berbagai jenis organisme dengan beragam fungsi untuk menjalankan berbagai proses vital bagi kehidupan terrestrial. Hewan tanah bersama-sama dengan mikroba melaksanakan berbagai metabolisme atau aktivitas biologi tanah. Perannya yang vital dalam perombakan bahan organik dan siklus hara menempatkan organisme tanah sebagai faktor sentral dalam memelihara produktivitas tanah (Husen *et al.*, 2007).

Sehubungan dengan itu, sasaran utama ekologi hewan tanah sebagaimana pula induknya, yaitu ekologi hewan adalah pemahaman mengenai aspek-aspek dasar yang melandasi kinerja hewan-hewan sebagai individu, populasi, komunitas dan ekosistem yang ditempatinya. Aspek-aspek tersebut meliputi pengenalan pola proses interaksi serta faktor-faktor penting yang menyebabkan keberhasilan maupun ketidakberhasilan organisme-organisme dan ekosistem-ekosistem itu

mempertahankan keberadaannya. Berbagai faktor dan proses ini merupakan informasi yang dapat dijadikan dasar dalam menyusun permodelan, peramalan, dan penerapannya bagi kepentingan manusia secara bijak, seperti habitat, keanekaragaman, pemerataan, kepadatan, frekuensi, pola distribusi, kelimpahan, makanan, dan perilaku (behavior).

Pengetahuan terkait hal-hal di atas ini dapat dimanfaatkan dalam praktikum, kajian, dan/atau penelitian, misalnya untuk mengkaji kelimpahan dan menganalisis kehadiran serta peran di ekosistem, memelihara stabilitas, menentukan langkah pelestarian, dan aktivitas lain terkait hewan tanah. Salah satu contoh adalah kita mengkaji hewan tanah tertentu terkait habitat, distribusi, kelimpahan, aktivitas/perilaku harian, makanan, dan aspek lainnya. Informasi yang diperoleh melalui proses pengamatan dan penelitian yang cermat dan akurat dapat dimanfaatkan untuk strategi konservasi, memperkiraan kelimpahan populasi di masa mendatang, analisis fungsi dalam ekosistem, mengkonservasi, membudidayakan, serta kegiatan lainnya.

Terkait dengan hal tersebut, ruang lingkup pendekatan ekologi hewan tanah dapat dibagi dalam 2 bagian, yaitu *Synekologi* dan *Autekologi*. *Synekologi* adalah materi bahasan dalam kajian atau penelitiannya ialah komunitas dengan berbagai interaksi antar populasi yang terjadi dalam komunitas tersebut. Contohnya adalah meneliti tentang struktur komunitas *Collembola* pada habitat tertentu, meneliti distribusi dan kelimpahan makrofauna di daerah atau habitat pertanian apel. *Autekologi* adalah kajian tentang jenis menyangkut kelompok individu (populasi) dari jenis hewan tanah, misalnya mengamati kehidupan cacing tanah mulai dari relung, habitat, sumber makanan, perkembangbiakan, perilaku, respon, dan fokus lainnya.

Menurut Ibkar-Kramadibrata (1992) dan Sucipta (1993) secara umum bahan kajian ekologi hewan tanah mencakup hal berikut. (1) Masalah distribusi dan kelimpahan populasi hewan secara lokal dan regional, mulai tingkat relung ekologi, mikrohabitat dan habitat, komunitas sampai biogeografi. (2) Masalah pengaturan fisiologis, respon serta adaptasi struktural maupun perilaku terhadap perubahan lingkungan. (3) Perilaku dan aktivitas hewan dalam habitatnya. (4) Perubahan-perubahan secara berkala (harian, musiman, tahunan, dan sebagainya) dari kehadiran, aktivitas dan kelimpahan populasi hewan. (5) Dinamika populasi dan komunitas serta pola interaksi-interaksi hewan dalam

populasi dan komunitas. (6) Pemisahan-pemisahan relung ekologi, spesies atau jenis dan ekologi evolusioner. (7) Masalah produktivitas sekunder dan ekoenergetika. (8) Ekologi sistem dan permodelan. Dengan demikian ruang lingkup Ekologi Hewan Tanah meliputi obyek kajian individu atau organisme, populasi, komunitas sampai ekosistem tentang distribusi dan kelimpahan, adaptasi dan perilaku, habitat dan relung, produktivitas sekunder, sistem dan permodelan ekologi.

Kehidupan hewan tanah sangat bergantung pada habitatnya, karena keberadaan dan kepadatan populasi suatu jenis hewan tanah di suatu daerah sangat ditentukan keadaan daerah itu. Dengan perkataan lain, keberadaan dan kepadatan populasi suatu jenis hewan tanah di suatu daerah sangat bergantung dari faktor lingkungan. Begon *et al* (1996) membedakan faktor lingkungan bagi hewan menjadi 2 kategori, yaitu *Kondisi* dan *Sumberdaya*. *Kondisi* adalah faktor-faktor lingkungan abiotik yang keadaannya berbeda dan berubah sesuai dengan perbedaan tempat dan waktu. Hewan bereaksi terhadap kondisi lingkungan, berupa perubahan-perubahan morfologi, fisiologi dan tingkah laku. Kondisi lingkungan antara lain berupa suhu, kadar air atau kelembaban, pH, salinitas, arus air, angin, tekanan, zat-zat organik, dan anorganik. *Sumberdaya* adalah segala sesuatu yang dikonsumsi oleh organisme, yang dapat dibedakan atas materi, energi dan ruang. Sumberdaya digunakan untuk menunjukkan suatu faktor maupun biotik yang diperlukan hewan, karena tersedianya di lingkungan berkurang apabila telah dimanfaatkan hewan. Setiap hewan akan bervariasi menurut ruang (tempat) dan waktu. Setiap hewan senantiasa berusaha untuk dapat beradaptasi terhadap setiap perubahan lingkungan. Hanya hewan yang mampu beradaptasi yang dapat bertahan hidup.

Pengukuran faktor lingkungan abiotik dalam studi Ekologi Hewan Tanah penting dilakukan karena besarnya pengaruh faktor abiotik itu terhadap keberadaan dan kepadatan populasi kelompok hewan tanah. Pengukuran faktor lingkungan abiotik akan memberi informasi tentang faktor yang besar pengaruhnya terhadap keberadaan dan kepadatan populasi kelompok hewan tanah yang diteliti. Selain itu, pengukuran faktor abiotik pada tempat dimana jenis hewan tanah tinggi akan sangat menolong dalam perencanaan pembudidayaannya. Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam mempelajari ekologi hewan tanah perlu diketahui metode-metode pengambilan contoh di lapangan karena hewan



tanah umumnya relatif kecil, bahkan tercampur dengan tanah. Analisis statistik pun perlu diketahui agar didapat kesimpulan yang sah dari penelitian atau kajian yang dilakukan (Suin, 2012). Berdasarkan berbagai landasan teori yang telah diuraikan tersebut, buku ini telat memuat materi atau bahasanyang komprehensif dan mendalam.

### C. Pengertian Ekologi dan Ekologi Hewan Tanah

Secara keilmuan, istilah ekologi pertama kali diperkenalkan oleh Ernst Haeckel, seorang biologiawan ternama dari Jerman, pada tahun 1869. Nama lengkap ilmuwan ini adalah Ernst Heinrich Philipp August Haeckel, lahir pada tanggal 16 Februari 1834 dan meninggal tanggal 9 Agustus 1919. Ernst Haeckel merupakan seorang naturalis, filosof, dokter, profesor dan sekaligus seniman. Ia menyebut istilah itu dengan "*oekologie*", terdiri atas dua suku kata Yunani, yaitu "*oikos*" (rumah tangga atau tempat tinggal) dan "*logos*" (ilmu, telaah, studi atau kajian).

Secara harfiah ekologi berarti ilmu tentang rumah tangga makhluk hidup atau ilmu tentang tempat tinggal makhluk hidup. Ernst Haeckel dalam buku *Principles of General Morphology of Organism* yang terbit tahun 1906 mendefinisikan istilah ekologi secara spesifik sebagai ilmu tentang relasi atau hubungan antara organisme dengan lingkungan sekitarnya dan termasuk dalam hal ini adalah semua "kondisi untuk bertahan". "Kondisi" yang dimaksud mungkin adalah bahan organik atau anorganik, yang keduanya bermanfaat sangat besar membentuk organisme karena mereka menuntut organisme untuk "adaptasi". Haeckel memasukkan ilmu fisiologi, morfologi dan korologi (ilmu tentang penyebaran organisme) dalam ekologi untuk mengetahui "kondisi untuk bertahan" dan "adaptasi" (Schulze *et al.*, 2005). Meskipun demikian, ahli ekologi menilai bahwa definisi ini masih sangat luas karena ada ilmu biologi lain yang berkaitan erat dengan ekologi, yaitu genetika, fisiologi, perilaku, dan evolusi sehingga diperlukan satu batasan spesifik dalam kajian ekologi (Krebs, 2001).

Definisi ekologi secara harfiah menurut Ernst Haeckel adalah ilmu tentang rumah tangga makhluk hidup atau disiplin ilmu yang mempelajari seluk-beluk ekonomi alam. Atas dasar definisi ini Theophrastus telah mengkaji dan memperkenalkan banyak karya tentang hubungan organisme dengan lingkungan (biotik dan abiotik), beberapa

abad sebelum masehi. Kajian mereka sebenarnya juga meliputi tumbuhan dan hewan serta faktor-faktor lingkungan lainnya.

Seorang ahli ekologi terkenal bernama Elton sebagaimana dikutip Leksono (2008) memberikan batasan ekologi sebagai ilmu yang mempelajari sejarah alamiah (*natural history*) makhluk hidup. Meskipun definisi ini menekankan pada asal-usul atau latar belakang berbagai persoalan ekologi, namun batasan Elton agak kabur. Definisi ekologi yang lebih khusus namun cenderung statis dan meninggalkan ide utama “hubungan timbal balik” adalah definisi ekologi sebagai kajian ilmiah mengenai distribusi dan kelimpahan makhluk hidup. Bertitik tolak dari pendapat tersebut, Krebs (2001) menyampaikan bahwa ekologi adalah kajian ilmiah mengenai hubungan timbal balik yang menentukan distribusi dan kelimpahan makhluk hidup.

Pakar lingkungan hidup yakni Odum (1998) berpendapat bahwa ekologi merupakan sebuah studi tentang struktur dan fungsi ekosistem atau alam, dimana manusia adalah juga bagian dari ekosistem itu sendiri. Definisi Odum tersebut memiliki 2 kata kunci yang memegang peranan penting serta menjadi semacam penuntun bagi peminat ekologi dan pemerhati lingkungan, yaitu “struktur” dan “fungsi”. Menurut mereka pengertian “struktur” dalam ranah ilmu ekologi mengandung pengertian tentang suatu keadaan dari sistem ekologi pada waktu dan tempat tertentu. Adapun pengertian “suatu keadaan” meliputi beberapa hal seperti; kerapatan/kepadatan, biomassa, penyebaran potensi unsur-unsur hara (materi), dispersi dan distribusi, energi, faktor-faktor fisik dan kimia lainnya yang mencirikan keadaan sistem tersebut. Sedangkan pengertian “fungsi” adalah gambaran tentang hubungan sebab-akibat yang terjadi dalam sistem. Jadi, menurut Odum, inti bahasan ekologi adalah mencari tahu sedalam-dalamnya tentang bagaimana fungsi organisme di alam.

Suyud & Subagja (2001) menyatakan bahwa ekologi merupakan bagian ilmu dasar. Resosoedarmo *et al.* (1993) mendefinisikan ekologi sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Lingkungan di sini mempunyai arti yang luas, menurut Heddy (1986) mencakup semua hal yang ada di luar organisme yang bersangkutan, misalnya cahaya atau radiasi sinar matahari, suhu, air dan curah hujan, kelembaban, topografi, parasit, predator, dan kompetitor. Pollunin (1990) menyebutnya juga faktor-faktor ekologi itu sangat banyak dan beranekaragam dan sering kali bercampur

secara rumit dan saling ketergantungan. Baik terpisah-pisah maupun dalam kombinasi, berbagai faktor ekologi itu dapat berpengaruh terhadap ketidakhadiran atau kehadiran, kesabaran atau kelemahan, dan keberhasilan atau kegagalan relatif berbagai komunitas melalui takson-takson penyusunnya.

Selain pendapat di atas, berikut ini disajikan beberapa definisi ekologi menurut para ahli (Indriyanto, 2008):

1. Miller: ekologi adalah ilmu tentang hubungan timbal balik antara organisme dan sesamanya serta dengan lingkungan tempat tinggalnya.
2. Odum: ekologi adalah kajian struktur dan fungsi alam, tentang struktur dan interaksi antara sesama organisme dengan lingkungannya dan ekologi adalah kajian tentang rumah tangga bumi termasuk tumbuhan, hewan, mikroorganisme dan manusia yang hidup bersama saling tergantung satu sama lain.
3. Kendeigh: ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik organisme yang satu dengan organisme yang lain serta lingkungannya. Hubungan timbal balik itu merupakan kenyataan yang telah terbukti sebagai respon organisme dalam cara-caranya berhubungan dengan organisme lain maupun dengan semua komponen lingkungannya.
4. Soemarwoto: ekologi adalah ilmu tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya.

Fokus ekologi yang utama adalah menemukan definisi bagaimana peran makhluk hidup di alam. Menurut Zoer'aini (2003) seorang yang belajar ekologi sebenarnya bertanya tentang berbagai hal berikut. (1) Bagaimana alam bekerja? (2) Bagaimana suatu spesies beradaptasi dalam habitatnya? (3) Apa yang mereka perlukan dari habitatnya itu untuk dapat dimanfaatkan guna kelangsungan hidupnya? (4) Bagaimana mereka mencukupi kebutuhan unsur hara (materi) dan energi? (5) Secara Bagaimana mereka berinteraksi dengan spesies lainnya? (6) Bagaimana individu-individu dalam spesies itu diatur dan berfungsi sebagai populasi?

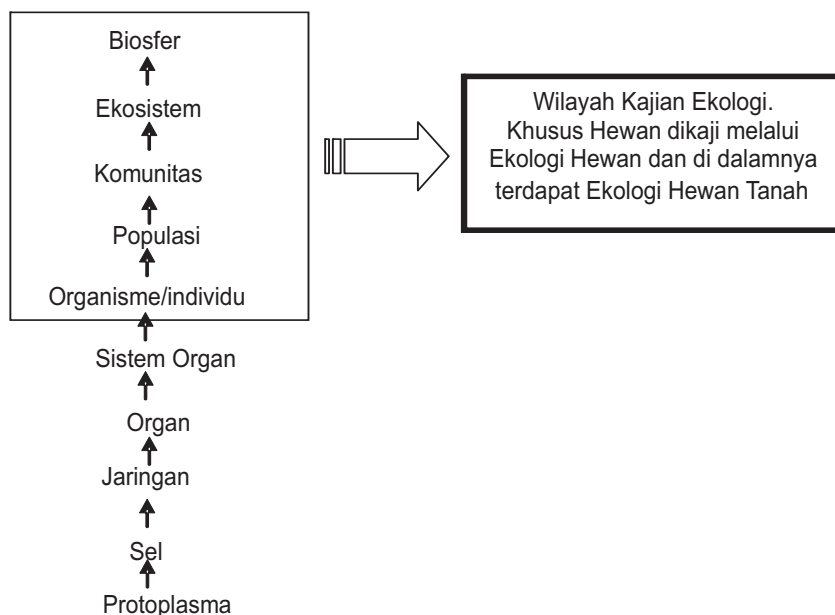
Apabila ditinjau dari ilmu biologi, pada prinsipnya makhluk hidup dapat dibagi atas dua bagian besar, yaitu hewan dan tumbuhan. Kedua kelompok ini sangat tergantung kepada faktor-faktor yang ada diluar

dirinya baik langsung maupun tidak langsung. Kita bisa mengatakan bahwa tidak ada satu makhluk hidup pun di dunia ini yang dapat berdiri sendiri tanpa bergantung dengan faktor lainnya (faktor luar). Faktor luar yang mempengaruhi kehidupan dan perkembangan makhluk hidup inilah yang kemudian disebut dengan lingkungan. Tumbuhan membutuhkan sumberdaya kehidupan dari lingkungannya dan sekaligus mempengaruhi lingkungannya. Sebaliknya, lingkungan juga mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Buku ini akan lebih banyak membahas tentang ekologi yang hubungannya dengan hewan tanah. Uraian-uraian lebih lengkap dan mendalam akan banyak Anda temui pada bagian-bagian selanjutnya.

Berdasarkan perpaduan harfiah dan berbagai kajian, maka ekologi dapat dikatakan sebagai cabang ilmu yang mengkaji aneka bentuk hubungan dua arah antar organisme dan juga antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Organisasi makhluk hidup mempunyai tingkatan dari yang paling sederhana hingga paling kompleks. Tingkatan organisasi makhluk hidup itu terlihat sebagai deretan biologi yang disebut spektrum biologi, terdiri atas: protoplasma (zat hidup dalam sel), sel (satuan dasar suatu organisme), jaringan (kumpulan sel yang memiliki bentuk dan fungsi), organ (alat tubuh, bagian dari organisme), sistem organ (kerjasama antara struktur dan fungsional yang harmonis), organisme (makhluk hidup, jasad hidup), populasi (kelompok organisme sejenis yang hidup dan berbiak pada suatu tempat), komunitas (semua populasi dari berbagai jenis yang menempati suatu daerah tertentu), ekosistem, dan biosfer.

Ekologi lebih banyak memperhatikan empat hal terakhir dalam posisi hirarki kehidupan yang telah disebutkan, yaitu populasi, komunitas, ekosistem dan biosfer. Tingkatan organisasi tersebut yang sekaligus menggambarkan posisi ekologi, ekologi hewan (termasuk ekologi hewan tanah) dan ekologi tumbuhan dapat disederhanakan dengan Gambar 1.1.

Menurut Leksono (2007) pada organisasi awal spektrum tersebut, ekologi bersinggungan dengan fisiologi lingkungan dan perilaku individu, sedangkan pada organisasi puncaknya ekologi bergabung dengan meteorologi, geologi, geokimia, dan geografi. Spektrum atau gambaran di atas memberikan pemahaman kepada kita bahwa batasan ilmu pengetahuan tidaklah tajam, melainkan berdifusi karena alam bukan paket yang terkotak-kotak.



**Gambar 1.1. Posisi Ekologi Tumbuhan dalam Organisasi Biologi**

(Sumber: diolah dari Odum, 1998)

Ekologi hewan tanah mengandung dua pengertian, yaitu ekologi sebagai ilmu dan hewan tanah sebagai obyek. Sebagai ilmu, ekologi mempelajari organisme, keberadaannya (hadir) dan kelimpahan dalam suatu daerah/habitat serta faktor pendukung dan proses yang menjadi penyebab (faktor lingkungan). Istilah-istilah tersebut jika dihubungkan dengan konteks ekologi hewan maka mengarahkan pada kesimpulan bahwa ekologi hewan adalah suatu cabang biologi yang khusus mempelajari interaksi-interaksi antara hewan dengan lingkungan biotik dan abiotik secara langsung maupun tidak langsung meliputi sebaran (distribusi) maupun tingkat kelimpahan hewan tersebut. Atas dasar definisi tersebut maka dapat diambil sebuah definisi atau pengertian ekologi hewan tanah yaitu ilmu yang membicarakan tentang spektrum hubungan timbal balik yang terdapat antara hewan tanah dengan lingkungannya serta antara kelompok-kelompok hewan tanah.

#### **D. Sejarah Perkembangan Ekologi**

Harus diakui bahwa sesungguhnya tidak mudah mencari jejak bilakah kajian ekologi sebagai induk dari kajian ekologi hewan tanah itu dimulai.

Apabila ditinjau dari segi proses alam, ekologi telah dikenal oleh manusia sejak lama, sejalan dengan sejarah peradaban umat manusia. Manusia, sebagai makhluk hidup, selalu berinteraksi dengan lingkungannya, demikian juga interaksi antara setiap organisme dengan lingkungannya merupakan proses yang kompleks dan berlangsung seirama dengan perkembangan kehidupan di bumi (evolusi) dan mungkin saja dimulai sejak awal penciptaan.

Harus diakui pula bahwa pelajaran mengenai lingkungan suatu organisme sudah dipelajari jauh sebelum kata ekologi itu sendiri diperkenalkan oleh ahlinya. Nenek moyang kita misalnya, pada zaman dahulu telah berupaya untuk memelihara lingkungan, yang terbukti dari beberapa mitos yang muncul. Mitos-mitos mengenai pemeliharaan lingkungan ini relatif banyak, karena masing-masing suku di Indonesia memilikinya. Begitu pula suku-suku tertentu di hampir seluruh negara di dunia. Gambaran ini memperlihatkan bahwa manusia merupakan organisme yang memiliki kekuatan penuh mempengaruhi lingkungan dan sebaliknya, sehingga dapat kita katakan pengetahuan ekologi berkembang sejalan dengan perkembangan peradaban manusia itu sendiri. Ekologi diturunkan melalui tradisi sejarah secara alami dari zaman dahulu.

Secara keilmuan, perkembangan ekologi berproses sepanjang sejarah. Ilmu ini selalu berkembang mengikuti perkembangan zaman. Catatan Hipocratus, Aristoteles, dan filosof-filosof Yunani kuno terkemuka lainnya merupakan manuskrip literatur penting terkait problem ekologi. Filosof-filosof tersebut telah memberikan perhatian khusus terhadap interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, namun demikian istilah ekologi belum dikenal pada saat itu. Kemudian, Anthony Van Leeuwenhoek, seorang pakar biologi, selain dikenal sebagai pakar bidang studi mengenai rantai makanan dan regulasi populasi, juga dikenal sebagai pionir pengguna alat mikroskop. Abad ke-16 dan ke-17 barulah ekologi dianggap sebagai sebuah kajian tersistem, analitik, dan obyektif mengenai interaksi makhluk hidup dan lingkungan. Kajian ekologi dapat dikatakan sesungguhnya lahir sebagai akibat dari perkembangan ilmu *Natural History* (ilmu sejarah alam) khususnya setelah diperkenalkan Ernst Haeckel pada tahun 1869.

Istilah *protoecology* ditemukan pula pada artikel Carolus Linnaeus, seorang peneliti tumbuhan berkebangsaan Swedia yang hidup di abad ke-18. Ia mengulas interaksi antara tanaman dengan binatang, yang



kemudian ia sebut sebagai *The Economy Nature* (Sukarsono, 2012). Hal yang sangat menarik adalah fakta bahwa tokoh evolusi Darwin dalam buku *On The Origin of Spesies* yang ia terbitkan tahun 1859 juga telah menegaskan tumbuhan dan hewan, seringkali terpisah di alam namun terikat bersama dalam sebuah jaring hubungan kompleks. Hal ini menunjukkan pada masa itu, ilmuwan selevel Darwin pun telah mencoba membaca dan mempelajari fenomena-fenomena ekologi.

Pencetus awal kajian bersifat modern adalah ilmuwan geografi tumbuhan, misalnya Humboldt, de Condolle, Engler, dan banyak lainnya. Ahli-ahli tersebut mengulas tentang distribusi tumbuh-tumbuhan, meskipun sampai saat ini masih banyak yang belum ditemukan jawabannya atau terpecahkan secara utuh. Dasar-dasar kajian geografi tumbuhan menjadi titik awal, lalu berkembang membentuk kajian komunitas flora maupun ekologi komunitas (Widhiastuti *et al.*, 2006). Berdasar kajian Humboldt maka beberapa ahli tumbuhan bermunculan pada abad ke-20 seperti Oscar Drude dan Eugene Hangat. Edward Forbes, seorang ahli biologi laut berkebangsaan Inggris mempelajari ekosistem di laut pada awal abad ke-19 dan tercatat sebagai pionir penggunaan metode kuantitatif untuk mengukur hubungan antara kedalaman air dengan jumlah individu organisme (Sukarsono, 2012).

Kurang lebih 40 tahun setelah eksistensi ahli-ahli itu, sekitar tahun 1900, legitimasi ekologi sebagai sebuah ilmu pun kian mantap. Kemantapan timbul karena pesatnya gerakan yang bertujuan untuk memelihara peradaban, yang salah satu unsur pentingnya adalah lingkungan hidup. Pada era tersebut muncul kesadaran komunal bahwa peradaban dimana pun tidak akan dapat bertahan jika terus-menerus mengabaikan isu lingkungan.

Ekologi komunitas berkembang dalam dua kutub, yaitu Kutub Eropa dipelopori Braun-Blanquet (1932) yang mengkaji komposisi, struktur, dan distribusi komunitas. Kutub Amerika, dipelopori Cowles (1899) yang mengkaji dinamika komunitas tumbuhan. Hampir pada saat bersamaan perhatian terhadap dinamika populasi juga banyak dikembangkan para ahli. Pendekatan teoretis dipelopori Lotka (1925), sementara Voltera (1926) menstimulasi pendekatan eksperimental. Hal yang menarik adalah bahwa istilah ekosistem justru pertama kali digunakan oleh Tansley pada tahun 1935. Ia telah banyak membantu penelitian dan pemikiran para ahli ekologi modern lainnya. Friederich (1930) menggunakan istilah

holocoen, sedangkan Thienemenn (1939) menggunakan biosistem untuk istilah ekosistem ini. Istilah ekosistem inilah yang sampai ini lebih populer digunakan.

Thienemann (1920) mengenalkan konsep tingkat trofik dalam pengertian konsumen dan produsen. Birge dan Juday tahun 1940-an mengenalkan produksi primer dan konsep dinamika tingkat trofik. Lidenmann (1942) mengenalkan konsep dasar ekologi modern yang akhirnya menjadi pelopor aliran budget energi. Studi siklus materi/nutrisi dipelopori Ovington tahun 1957 dan Basilevic & Rodin tahun 1967 (Widhiastuti *et al.*, 2006).

Saat ini ekologi menjadi “bintang” dibanding cabang-cabang keilmuan lainnya. Ekologi tidak sekedar cabang penunjang. Beragam prinsip ekologi dapat menginspirasi hidup selaras dengan alam, sejalan dengan gerakan kepekaan lingkungan sejak tahun 1968, berupa hemat sumber daya, hemat energi, mencegah polusi udara, mencegah polusi air, mencegah polusi tanah, memelihara hutan, dan sebagainya. Problem globalisasi lingkungan dan degradasi fungsi lingkungan mendorong semakin banyaknya minat mempelajari atau mendalami ekologi (Retmonando & Hestiana, 2011).

Menurut Sukarsono (2012) Charles Elton menulis buku pertama tentang ekologi hewan pada tahun 1927. Ia mengorganisasikan gagasan-gagasan untuk mengintegrasikan istilah populasi dan ekologi komunitas sebagai konsep kunci dalam ekologi. Konsep-konsep kunci tersebut meliputi:

1. Rantai makanan atau siklus makanan, selanjutnya disebut dengan *webs* (jaring-jaring makanan) atau struktur trofik, yaitu urutan atau rangkaian dimana nutrien dan energi berpindah dari tanaman ke herbivora (pemakan tumbuhan) ke berbagai pemangsa sampai ke dekomposer atau pengurai.
2. Relung: setiap spesies mempunyai kemampuan untuk beradaptasi terhadap suatu kondisi lingkungan tertentu dalam satu komunitas.
3. Piramida urutan: binatang yang lebih kecil memerlukan organisme yang sedikit lebih besar dalam satu rantai makanan karena hilangnya beberapa nutrien dan energi dari rantai makanan.

Sejak tahun 1920-an dan 1930-an perkembangan konsep ekologi, termasuk ekologi hewan, juga mengarah ke ekologi kuantitatif dan teori

matematis. Penelitian ekologi semakin banyak menggunakan pendekatan kuantitatif dari contoh populasi maupun komunitas untuk mengkaji jumlahnya serta mengukur lingkungan fisik berbagai jenis organisme dalam satu habitat. Teori matematis suatu ekologi populasi pertama kali diperkenalkan oleh ahli ilmu Fisika, Alfred Lotka, dan seorang ahli Biologi Matematika, Vito Volterra, melalui integrasi prinsip-prinsip kimia-fisik ke dalam ekologi dalam bentuk perhitungan persamaan diferensial logistik yang menggambarkan pertumbuhan satu populasi dari waktu ke waktu.

Teori ekologi terus berkembang pada tahun 1950-an melalui pekerjaan George Evelyn Hutchinson dan Robert McArthur yang merumuskan satu teori tentang relung komunitas binatang yang terjadi dalam interaksi antar spesies. Juga pada tahun 1950-an konsep tentang superorganisme dari Clements yang lama diabaikan kembali diangkat oleh Henry A. Gleason. Ahli ekologi dan lingkungan hidup menjadi semakin sadar akan arti pentingnya sejarah dan kejadian sebagai kesempatan untuk mengembangkan teori-teori ekologis.

Secara khusus, teramat sulit untuk melacak jejak perkembangan ekologi hewan tanah di Indonesia. Salah satu penyebabnya adalah karena lemahnya pola dokumentasi hasil penelitian di Indonesia. Menurut hemat penulis, "Ekologi Hewan Tanah" di Negara kita mulai tren pada era 1980-an, meskipun sebelum itu sudah muncul beberapa penelitian hewan tanah. Hal ini terbukti dengan terbitnya buku atau bahan ajar untuk laboratorium ditulis oleh Suin (1989) berjudul "Ekologi Hewan Tanah". Hingga tahun 2018 (semata berdasarkan telaah penulis terhadap buku tersebut di berbagai toko buku terkemuka) tidak direvisi dan masih menjadi referensi utama di berbagai perguruan tinggi dan menjadi rujukan banyak peneliti. Dengan tetap menghargai begitu besarnya "jasa" bagi khasanan keilmuan Indonesia, buku yang ditulis Suin (2012) tersebut kini telah berusia 38 tahun, sehingga tak dapat dipungkiri amat banyak hal yang harus diperbaiki, diperbaharui, ataupun diperkaya. Dengan demikian, perlu kiranya penyusunan bahan ajar atau buku pengayaan sehingga semakin memperkaya pemahaman mahasiswa atau orang-orang yang tertarik menekuni kajian tema tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 2**

# **TANAH SEBAGAI HABITAT**

### **A. Konsep Habitat**

#### **1. Pengertian Habitat**

Setiap organisme menempati tempat tertentu, disebut habitat. Habitat adalah tempat suatu spesies atau jenis tinggal dan berkembang. Pada dasarnya, habitat adalah lingkungan-paling tidak lingkungan fisiknya-di sekeliling populasi suatu jenis yang mempengaruhi dan dimanfaatkan oleh jenis tersebut. Menurut Odum (1998) habitat adalah lingkungan fisik yang ada di sekitar suatu jenis, atau populasi jenis, atau kelompok jenis, atau komunitas. Habitat dapat diartikan sebagai tempat suatu makhluk hidup, dan semua makhluk hidup memilikinya.

Bila kita ingin mencari atau ingin berjumpa dengan suatu organisme tertentu, maka harus tahu lebih dahulu tempat tinggalnya, sehingga ke tempat tinggalnya itulah kita pergi untuk mencari. Semua organisme memiliki habitat, maka habitat suatu organisme bisa juga disebut alamat organisme itu. Habitat suatu populasi hewan pada dasarnya menunjukkan totalitas dari corak lingkungan yang ditempati populasi itu, termasuk faktor-faktor abiotik berupa ruang, tipe substrat atau medium yang ditempati, cuaca, iklim, dan vegetasi. Istilah habitat juga menunjukkan tempat tumbuh kelompok organisme yang membentuk komunitas. Habitat terdiri atas organisme lain (biotik) dan beragam makhluk tak hidup (abiotik).

Setiap organisme menghendaki kondisi lingkungan tempat dengan syarat hidupnya. Persyaratan hidup merupakan kisaran faktor-faktor ekologi di habitat dan dibutuhkan untuk bereksistensi. Kisaran faktor-faktor ekologi berbed-beda. Batas bawah dikenal dengan istilah titik minimum, sedangkan batas atas dikenal istilah titik maksimum. Titik di

antara titik minimum dan titik maksimum merupakan titik optimum. Ketiganya merupakan titik kardinal (Irwanto, 2011).

Setiap organisme membutuhkan habitat masing-masing yang sesuai. Apabila terjadi gangguan habitat maka komponen habitat dapat mengalami perubahan. Perubahan habitat bisa jadi tidak sesuai lagi bagi organisme, karena berbeda dengan kondisi sebelumnya. Menurut Rahardjantoet *al* (2013) apabila sifat habitat berubah sampai di luar titik minimum atau maksimum, makhluk hidup itu akan mati atau harus pindah ke tempat lain. Apabila perubahan berjalan lambat, misalnya terjadi selama beberapa generasi, makhluk hidup umumnya dapat menyesuaikan diri dengan kondisi baru di luar batas semula. Melalui proses adaptasi itu sebenarnya telah terbentuk makhluk hidup yang mempunyai sifat lain yang disebut varietas baru atau ras baru bahkan dapat terbentuk jenis baru.

Habitat adalah lingkungan fisik tempat organisme ditemukan. Habitat biasanya berisikan banyak relung dan menyokong banyak kehidupan spesies yang berbeda-beda. Setiap makhluk hidup mempunyai cara tertentu untuk hidup di dalam habitat. Cara hidup organisme seperti itu disebut relung atau *niche*. Relung ekologi merupakan suatu konsep abstrak mengenai keseluruhan persyaratan hidup dan interaksi organisme dalam habitatnya. Habitat merupakan penyedia berbagai kondisi dan sumberdaya yang dapat digunakan oleh organisme sesuai dengan persyaratan hidupnya.

## 2. Tipe Habitat

Umunya dikenal empat tipe habitat utama yakni: daratan, perairan tawar, perairan payau, perairan laut, dan estuaria. Tipe habitat itu dapat dibagi lagi berdasarkan aspek yang dikaji. Berdasarkan kepentingan populasi hewan yang menempatinnya, pembagian tipe habitat merujuk pada aspek variasinya ruang serta waktu.

Kramadibrata (1996) membagi empat variasi habitat berdasarkan waktu, sebagai berikut.

- a. Habitat konstan, yaitu suatu habitat yang kondisinya terus-menerus relatif baik atau kurang baik.
- b. Habitat bersifat memusim, yaitu suatu habitat yang kondisinya secara relatif teratur secara berganti-ganti antara baik dan kurang baik.



- c. Habitat tidak menentu, yaitu suatu habitat yang mengalami suatu periode dengan kondisi baik yang lamanya juga bervariasi sehingga kondisinya tidak dapat diramalkan.
- d. Habitat *efemeral*, yaitu suatu habitat yang mengalami periode kondisi baik yang berlangsung relatif singkat, diikuti oleh suatu periode dengan kondisi yang berlangsung relatif lama sekali.

Menurut Rahardjanto *et al* (2013) berdasarkan variasi kondisi habitat menurut ruang, habitat dapat diklasifikasi menjadi 3 macam sebagai berikut.

- a. Habitat bersinambung, yaitu apabila suatu habitat memiliki area dengan kondisi baik yang luas sekali, yang melebihi luas area yang dapat dijelajahi populasi hewan penghuninya.
- b. Habitat terputus-putus, yaitu apabila suatu habitat memiliki area dengan kondisi baik berselang-seling dengan area berkondisi kurang baik dan hewan penghuni menyebar dengan mudah dari kondisi baik satu ke kondisi lainnya.
- c. Habitat terisolasi, yaitu apabila suatu habitat memiliki area berkondisi baik dengan luas terbatas, dan terletak jauh terpisah dari area berkondisi baik lainnya, sehingga hewan tak bisa menyebar, kecuali ada faktor kebetulan.

### 3. Mikrohabitat dan Makrohabitat

Beberapa istilah seperti mikrohabitat dan makrohabitat penggunaannya tergantung dan merujuk pada skala apa studi yang akan dilakukan terhadap satwa yang menjadi pertanyaan (Johnson, 1980). Makrohabitat dan mikrohabitat harus ditentukan untuk masing-masing studi yang berkenaan dengan jenis spesifik. Makrohabitat merujuk pada ciri khas dengan skala yang luas seperti zona asosiasi vegetasi (Block & Brennan, 1993) yang biasanya disamakan dengan level pertama seleksi habitat menurut Johnson. Mikrohabitat biasanya menunjukkan kondisi habitat sesuai, yang merupakan faktor penting pada level 2-4 dalam hierarki Johnson. Oleh sebab itu, merupakan hal yang tepat untuk menggunakan istilah mikrohabitat dan makrohabitat dalam sebuah pandangan relatif, pada skala penerapan yang ditetapkan secara eksplisit.

Populasi-populasi hewan yang mendiami suatu habitat tertentu akan terkonsentrasi ditempat-tempat dengan kondisi yang paling cocok bagi

pemenuhan persyaratan hidupnya masing-masing. Mikrohabitat adalah bagian dari habitat yang merupakan lingkungan yang kondisinya paling cocok dan paling akrab berhubungan dengan makhluk hidup. Sebagai contoh, kemampuan koeksistensi yang tidak sama pada setiap serangga yang hidup bersama-sama menyebabkan pemisahan mikrohabitat serangga. Batas antara mikrohabitat yang satu dengan lainnya acapkali tidak nyata. Namun demikian, mikrohabitat memegang peranan penting dalam menentukan keanekaragaman jenis yang mempengaruhi habitat itu (Kramadibrata, 1996).

Contoh makrohabitat dan mikrohabitat adalah organisme penghancur (pembusuk) daun hanya hidup pada lingkungan sel-sel daun lapisan atas fotosintesis. Spesies organisme penghancur lainnya hidup pada sel-sel daun bawah pada lembar daun yang sama hingga mereka hidup bebas tidak saling mengganggu. Lingkungan sel-sel dalam selembur daun di atas disebut mikrohabitat sedangkan keseluruhan daun dalam lingkungan makro disebut makrohabitat.

## **B. Sifat dan Karakteristik Tanah**

Menurut Soemarno (2010) tanah merupakan komponen kerak bumi, terdiri atas berbagai mineral serta berbagai bahan organik. Tanah memiliki fungsi penting bagi kehidupan. Tanah menjadi media tumbuh utama bagi tumbuhan, menjadi tempat akar mencengkeram sehingga tumbuhan tertopang dengan baik, dan sekaligus memberi hara serta air. Adanya rongga-rongga dalam tanah merupakan wadah yang baik untuk pernafasan akar dan ketika tumbuh. Tanah menjadi “rumah” bagi aneka organisme. Sebagian besar organisme darat menjadikan tanah sebagai area hidup. Tanah memegang peranan penting sebagai penyimpan air dan menekan erosi, meskipun tanah sendiri juga dapat tererosi. Komposisi tanah berbeda-beda pada satu lokasi dengan lokasi yang lain. Air dan udara merupakan bagian dari tanah.

Tanah merupakan produk pelapukan batuan yang dipengaruhi proses fisika dan kimia lingkungan, juga dengan bantuan aktivitas organisme. Organisme misalnya akan menyusun bentuk unik melapisi bebatuan. Proses pembentukan tanah dikenal sebagai “pedogenesis”. Gambaran proses pembentukan tanah sebagai tubuh alam yang tersusun atas horizon tanah berlangsung dalam kurun waktu relatif lama. Masing-

masing horizon menggambarkan asal muladan berbagai proses biologis, kimia, maupun fisika dilaluinya.

Tanah pada lingkungan hutan tropis dapat distratifikasi dari lapisan yang paling atas yaitu Lapisan I: terdiri bahan organik dan mineral termasuk lapisan serasah dan humus, Lapisan II: terdiri endapan transisi, dan Lapisan III: terdiri lapisan batuan induk. Lapisan I dapat dibedakan lagi menjadi: serasah segar, serasah terombak, mineral organik, mineral terdegradasi, dan lapisan transisi ke endapan. Macam dan tebal tipis lapisan bervariasi dan terkadang tidak tegas beda dengan lainnya. Arthropoda tanah banyak terdapat pada lapisan *top soil*, yaitu tanah yang banyak mengandung humus dan bahan organik. Lapisan ini ketebalannya berkisar 0–25 cm yang terdapat sumber pakan dan oksigen yang cukup untuk mendukung kehidupan arthropoda tanah/hewan tanah (Suhardjono & Adisoemarto, 1997; Erniwati, 2008).

### C. Tanah Sebagai Habitat Hewan

Lingkungan tanah tersusun atas gabungan lingkungan abiotik dan lingkungan biotik. Gabungan dari keduanya memunculkan suatu habitat yang sesuai sebagai tempat tinggal beragam jenis makhluk hidup, termasuk hewan tanah. Tanah merupakan medium alami, sebagai wadah tumbuhnya aneka tumbuhan yang terdiri atas bahan organik dan makhluk hidup. Pertumbuhan akar, metabolisme jasad renik, dan berbagai aktivitas biologis dalam tanah memiliki peran utama dalam membentuk kesuburan dan karakteristik tanah (Rao, 1994).

Menurut Kimball (1999) tanah adalah titik tempat masuk utama bahan sebelum ke dalam tubuh tumbuhan. Tumbuhan lalu akan menyerap air menggunakan akar, juga hara lain seperti nitrat, fosfat, sulfat, kalium, tembaga, seng, dan mineral esensial lainnya. Semua bahan tersebut digunakan tumbuhan untuk membantu mengubah CO<sub>2</sub> yang telah dimasukkan lewat daun menjadi senyawa kompleks hasil metabolisme primer dan ataupun metabolisme sekunder, yang menjadi kebutuhan hidup semua tumbuhan dan organisme heterotrof. Tanah menjadi faktor utama produktivitas di muka bumi ini, bersamaan dengan faktor lain seperti temperatur dan air.

Tanah adalah habitat kompleks untuk organisme. Dibandingkan dengan media kultur murni di laboratorium, tanah sangat berbeda karena

dua hal utama, yaitu 1) pada kondisi alami, tanah merupakan media fase padat, cair, dan gas dengan sifat dan ciri yang bervariasi, dan 2) di dalam tanah terjadi kompetisi antara berbagai macam organisme untuk memperoleh nutrisi, ruang, dan kelembaban. Perbedaan pH, kelembaban, dan jenis makanan yang tersedia mampu membentuk berbagai jenis habitat. Oleh karena itu, apabila ingin memahami organisme tanah maka sangat diperlukan pengetahuan tentang tanah sebagai habitatnya (Handayanto & Hairiah, 2012).

Menurut Soemarno (2010) tanah adalah penyusun lapisan kerak bumi, terdiri atas bahan organik dan mineral. Tanah memegang peran penting bagi seluruh kehidupan di muka bumi karena kemampuannya mendukung siklus hidup tumbuhan. Tanah menyediakan mineral, bahan organik, dan air yang dibutuhkan untuk hidup oleh tumbuhan, sekaligus menopang tumbuhan karena melakatkan akar. Pori-pori tanah juga memudahkan tumbuhan untuk tumbuh dan berespirasi. Beragam mikroorganisme menjadikan tanah sebagai tempat hidupnya (habitat). Tanah menjadi lahan untuk hidup dan bergerak bagi sebagian besar hewan darat.

Tanah berperan vital dalam menangkap air dan menyimpannya, serta menekan erosi, walaupun tanah bisa tererosi. Menurut ilmu "pedogenesis", komposisi tanah tidak sama antar lokasi. Tanah terbentuk melalui proses pelapukan batuan sehingga terbentuk pola yang unik. Proses unik tersebut membentuk lapisan/horizon, yang menggambarkan asal serta berbagai proses yang dialami tubuh tanah (Soemarno, 2010). Tanah adalah tubuh alam, melingkupi bumi dengan bagian tipis, dibentuk dari batu yang mengalami pelapukan, mineral, dan bahan organik yang terdekomposisi. Tanah juga menyediakan air dan hara yang sangat bermanfaat untuk kehidupan tumbuhan. Hal yang menyebabkan semakin subur adalah adanya pelapukan yang terus berlanjut, mineral, pertukaran kation dengan kapasitas relatif tinggi, kelembaban air, dan keasaman tanah yang netral. Tanah sebagai habitat biota tanah sebagai medium alam untuk pertumbuhan dan melakukan aktivitas fisiologinya. Tanah menyediakan nutrisi, air dan sumber karbon yang diperlukan untuk pertumbuhan dan aktivitasnya. Lingkungan tanah seperti faktor abiotik (sifat fisik dan kimia tanah) dan faktor biotik (adanya biota tanah dengan tanaman tingkat tinggi) ikut berperan dalam menentukan tingkat pertumbuhan dan aktivitas biota tanah tersebut (Fitri, 2011).

Mikroba selalu dijumpai pula dalam tanah, dengan jumlah yang relatif lebih banyak dibandingkan di air dan udara. Bahan organik umumnya terakumulasi dalam jumlah melimpah di tanah sehingga sesuai bagi kehidupan mikroorganisme (baik yang heterotrof maupun yang bersifat autotrof). Kehadiran mikroba dalam tanah utamanya didukung faktor kimia serta faktor fisika tanah. Struktur tanah tersusun atas pasir, debu, liat, dan bahan organik. Struktur tanah mempengaruhi ketersediaan O<sub>2</sub> maupun lengas, sehingga mendorong adanya lingkungan mikro tanah.

Mikroba tanah akan menyusun diri menjadi mikrokoloni asalkan syarat pertumbuhan berupa kond trof, aerob, maupun anaerob. Masing-masing mikroba mampu mengubah senyawa tertentu menjadi bentuk senyawa lain sebagai upaya memenuhi kebutuhan energi dan nutrisi. Keberadaan mikroba tanah mendorong terjadinya daur karbon, nitrogen, fosfor, dan lainnya di alam (Soemarno, 2010).

Aktivitas kehidupan berbagai organisme tanah akan berdampak positif bagi kesuburan tanah. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa organisme tanah memiliki posisi vital; bagi terciptanya kesuburan tanah. Peran sebagai penentu kesuburan tanah dapat dilihat dengan perbaikan sifat-sifat fisik tanah, yaitu 1) struktur, 2) tekstur dan konsistensi, 3) pergerakan dan tersimpannya air, serta 4) sirkulasi udara. Perubahan sifat kimia tanah yang dapat terjadi, meliputi 1) hara yang tersedia, 2) kapasitas tukar kation, dan 3) kadar keasaman tanah dan bahan organik. Sifat tanah mengalami perubahan karena adanya aktivitas fauna tanah sehingga mempengaruhi proses-proses berikut, yaitu 1) pembentukan humus dan mineral dari bahan organik, 2) *mixing*(mengaduk) tanah, dan 3) pembentukan pori (Ma'shum *et al*, 2003).

Hewan tanah sebagai *mixer* tanah mempercepat laju perubahan struktur tanah dari sifat kompak dan masif menjadi remah. Proses bioturbasi menyebabkan perpindahan komponen tanah yang berukuran halus dari atas ke bawah atau sebaliknya. Tempat yang telah dilewati hewan tanah membuat bentuk-bentuk membentuk lubang saluran atau liang yang mempermudah sirkulasi udara dan laju infiltrasi air. Peran hewan tanah dan mikroba yang ada di tubuhnya sebagai penata sifat tanah, mengisyaratkan bahwa kehadiran hewan tanah adalah vital untuk memastikan terwujudnya lingkungan yang sesuai, dimana tumbuhan dan mikriba dapat tumbuh dengan baik.

Kehadiran hewan tanah mempercepat proses perombakan *inlet* komponen atau bahan organik. Bahan organik berbentuk masih segar adalah makanan yang sesuai bagi hewan. Pencernaan hewan menyebabkan terjadi dekomposisi bahan organik, dan sebagian produk dekomposisi dilepaskan ke tanah dalam wujud kotoran (hasil produksi). Kotoran hewan biasanya mengandung C-organik dan unsur yang tersedia untuk kehidupan tumbuhan dan organisme lain lebih besar daripada di sekitarnya. Kandungan kimia kotoran hewan umumnya cukup beragam, dipengaruhi oleh jenis hewan, besarnya volume makanan, dan sifat tanah. Penelitian terkait peran atau fungsi hewan sebagai pengatur kesuburan tanah belum banyak dilakukan, berbeda dengan mikroba dan kelompok hewan lain yang telah menjadi obyek kajian mendalam dan serius selama beberapa puluh tahun terakhir ini (Ma'shum *et al*, 2003).

#### **D. Faktor Abiotik Tanah**

Hewan tanah adalah salah satu komponen yang ada di dalam ekosistem tanah. Hewan tanah menggantungkan hidupnya pada kondisi habitat. Kehadiran, proses perkembangbiakan, dan kepadatan jenis-jenis hewan tanah (populasi) di suatu tempat amat dipengaruhi kondisi tempat itu. Dapat pula dikatakan bahwa suatu jenis hewan tanah di suatu tempat sangat dipengaruhi faktor biotik dan abiotik. Oleh karena itu, kajian ekologi hewan tanah tidak lepas dari kajian faktor kimia dan fisika tanah. Kedua faktor itu selalu diukur dalam kajian atau penelitian hewan tanah (Suin, 1997).

Kehidupan hewan tanah sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan biotik dan abiotik. Faktor lingkungan biotik adalah adanya organisme lain yang berada di habitat yang sama, seperti mikroflora, tumbuh-tumbuhan dan golongan hewan lainnya (Suin, 2006). Faktor lingkungan abiotik yang berpengaruh terhadap keberadaan hewan tanah, terutama adalah pH tanah, suhu tanah, aerasi, dan kadar air tersedia. Tanah asam ataupun tanah alkalin umumnya kurang disukai hewan tanah, terutama disebabkan karena tanaman yang dapat hidup pada tanah-tanah tersebut hanya sedikit. Hal ini menyebabkan hewan tanah akan kekurangan sumber makanan.

Kebanyakan hewan tanah termasuk ke dalam kelompok hewan mesophiles, yaitu organisme tanah yang hidup pada suhu tanah 10°C



sampai dengan 40°C. Mikroarthropoda pada suhu yang tinggi akan bergerak lebih dalam pada lapisan tanah untuk menghindari sumber panas. Hewan tanah umumnya lebih menyukai tanah yang lebih lembab. Bila kandungan air tanah terlalu tinggi dan tanah menjadi jenuh air, hewan tanah seperti Collembola akan terdesak keluar dari pori tanah yang telah jenuh air. Bila tanah menjadi terlalu kering, maka hewan tanah terutama yang hidup pada poritanah akan terisolasi. Aerasi yang cukup juga dibutuhkan terutama untuk proses dekomposisi bahan organik (Coney dan Thompson, 2006).

Tanah mempunyai sifat sangat kompleks, terdiri atas komponen padatan yang berinteraksi dengan cairan dan udara. Komponen pembentuk tanah yang berupa padatan, cair, dan udara jarang berada dalam kondisi kesetimbangan, selalu berubah mengikuti perubahan yang terjadi di atas permukaan tanah yang dipengaruhi oleh suhu udara, angin, dan sinar matahari. Tanah merupakan media tumbuh tanaman. Media yang baik bagi pertumbuhan tanaman harus mampu menyediakan kebutuhan tanaman seperti air, udara, unsur hara, dan terbebas dari bahan-bahan beracun dengan konsentrasi yang berlebihan. Dengan demikian sifat-sifat fisik dan kimia tanah sangat penting untuk dipelajari agar dapat memberikan media tumbuh yang ideal bagi tanaman.

Selama ini untuk mengetahui kondisi kesuburan tanah yang sering digunakan adalah sifat fisika dan kimia tanah. Indikator yang merupakan sifat fisika dan kimia biasanya lebih mudah dipelajari atau dimengerti daripada indikator biologi. Beberapa fisika dan kimia tanah yang umum dikaji adalah tekstur, agregat, struktur, pori-pori, berat jenis tanah, pH tanah, kapasitas tukar anion dan kation, karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, mangan, besi, merkuri, dan selenium (Handayanto & Hairiah, 2009). Parameter kesuburan tanah yang dianalisis, seperti sifat fisika tanah, yaitu 1) berat isi (*bulk density*), 2) *particle density*, 3) tekstur, 4) struktur, 5) konsistensi, 6) kedalaman efektif, dan 7) porositas. Struktur dan konsistensi tanah diamati langsung di lapangan. Parameter sifat kimia, meliputi 1) basa-basa tukar (K, Na, Ca, dan Mg), (2) pH (pH H<sub>2</sub>O dan pH H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 3) kapasitas tukar kation, 4) kejenuhan basa, 5) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (HCl 25 %), 6) K<sub>2</sub>O (HCl 25 %), dan 7) C-organik (Nugroho, 2009).

Menurut Suin (2012) sifat fisika tanah yang umum diukur, yaitu warna, suhu, konsistensi, dan tekstur. Biasanya dilakukan pula pengukuran kerapatan isi, total ruang pori, dan permeabilitas tanah. Sifat kimia tanah

yang biasanya diukur, yaitu nilai tukar kation, pH, kadar organik, dan nitrogen. Menurut Mindari & Priyadarsini (2011) pengukuran kimia tanah dapat dibatasi pada bahan organik, N-total, P-tersedia, K-total dan tersedia, Na-tersedia, Ca-tersedia, Mg-tersedia, kejenuhan basa, kadar tukar kation, salinitas, dan pH.

**Tabel 2.1. Parameter Fisika-Kimia Kesuburan Tanah dan Metode Analisisnya**

No.	Parameter	Satuan	Metode analisisnya
<b>Sifat fisika tanah</b>			
1	Tekstur	% fraksi	Metode pipet
2	Berat isi ( <i>bulk density</i> )	g/cm <sup>3</sup>	Gravimetri, ring sampler, neraca elektrik
3	Struktur	-	Pengamatan/pengukuran langsung di Lapangan
4	Konsistensi	-	Pengamatan/pengukuran langsung di Lapangan
5	Kedalaman efektif	cm	Pengamatan/pengukuran langsung di Lapangan
6	Kematangan tanah	-	Metode yang dikembangkan oleh Pons
<b>Sifat kimia tanah</b>			
1	pH (H <sub>2</sub> O)		Electrode glass
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (p-potensial)	mg/100 g	Ekstraksi HCl 25%
3	K <sub>2</sub> O (k-potensial)	mg/100	Ekstraksi HCl 25%
4	C-organik	%	Walkley & Black (dikromat)
5	P-tersedia	ppm	Ekstraksi Bray-i
6	Basa-basa dapat tukar (Ca, Mg, K, Na)	Me/100 g	Ekstraksi; pH 7,0
7	Kapasitas tukar kation	Me/100 g	Ekstraksi; pH 7
8	Kejenuhan basa	%	Perhitungan

(Sumber: Nugroho, 2009)

Kelimpahan dan keragaman hewan tanah bersifat dinamis, selalu berubah. Faktor-faktor abiotik seperti kelembapan, aerasi, dan suhu sangat berpengaruh terhadap kelimpahan dan keragaman hewan tanah. Demikian pula faktor biotik seperti jenis tanaman yang diusahakan, pola tanam, dan kadar bahan organik tanah berpengaruh terhadap hewan tanah. Hal ini berkaitan dengan ekosistem penggunaan dan pengelolaan lahan. Oleh karena itu, pengetahuan tentang pengaruh berbagai cara pengelolaan lahan pada berbagai ekosistem menjadi sangat penting karena sebagian besar kegiatan penggunaan lahan secara konvensional pada umumnya hanya berorientasi pada memaksimalkan hasil dengan mengandalkan bahan kimia sintesis atau dengan mengekstraksi alam

secara berlebihan sehingga mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan (Santosa, 2007). Adapun sifat fisika kimia indikator kesuburan tanah yang umumnya diukur beserta metodenya adalah sebagaimana Tabel 2.1.

Berikut ini dijelaskan secara singkat faktor fisika kimia utama yang berpengaruh terhadap komunitas hewan tanah.

### 1. Suhu Tanah

Suhu berpengaruh terhadap ekosistem karena suhu merupakan syarat yang diperlukan organisme untuk hidup dan ada jenis-jenis organisme yang hanya dapat hidup pada kisaran suhu tertentu (Hardjowigeno, 2007). Kehidupan hewan tanah juga ikut ditentukan oleh suhu tanah. Suhu yang ekstrim tinggi atau rendah dapat mematikan hewan tanah. Suhu tanah pada umumnya juga mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan metabolisme hewan tanah. Tiap jenis hewan tanah memiliki kisaran suhu optimum (Ariani, 2009).

Suhu tanah merupakan salah satu faktor fisika tanah yang sangat menentukan kehadiran dan kepadatan organisme tanah. Suhu tanah akan menentukan tingkat dekomposisi material organik tanah. Fluktuasi suhu tanah lebih rendah dari suhu udara. Suhu tanah lapisan atas mengalami fluktuasi dalam satu hari satu malam dan tergantung musim. Fluktuasi itu juga tergantung pada keadaan cuaca, topografi, dan keadaan tanah (Suin, 2012). Besarnya perubahan gelombang suhu di lapisan yang jauh dari tanah berhubungan dengan jumlah radiasi sinar matahari yang jatuh pada permukaan tanah. Besarnya radiasi yang terintersepsi sebelum sampai pada permukaan tanah, tergantung pada vegetasi yang ada di atas permukaannya.

Temperatur sangat mempengaruhi aktivitas mikrobial tanah. Aktivitas ini sangat terbatas pada temperatur di bawah 10°C, laju optimum aktifitas biota tanah yang menguntungkan terjadi pada suhu 18-30°C. Nitrifikasi berlangsung optimum pada temperatur sekitar 30°C. Pada suhu diatas 30°C lebih banyak unsur K-tertukar dibebaskan pada temperatur rendah (Hanafiah, 2007).

Cara untuk mengukur suhu tanah adalah dengan memasukkan termometer ke dalam tanah dengan cara membuat lubang menggunakan besi berdiameter sama dengan termometer yang digunakan. Masukkan termometer ke dalam lubang tersebut sampai kedalaman yang

dikehendaki, misal untuk lapisan olah cukup sampai kedalaman 20 cm (Anwar, 2007). Apabila menggunakan *soil thermometer* yang sudah memiliki pembungkus metal, maka dapat dilakukan dengan langsung menancapkannya ke tanah sampai tanda batas, dibiarkan beberapa waktu sampai suhu konstan.

## 2. Keasaman (pH) Tanah

Salah satu sifat kimia tanah adalah keasaman atau pH (*potensial of hydrogen*). pH adalah nilai pada skala 0-14, yang menggambarkan jumlah relatif ion  $H^+$  terhadap ion  $OH^-$  didalam larutan tanah. Larutan tanah disebut bereaksi asam jika nilai pH berada pada kisaran 0-6, artinya larutan tanah mengandung ion  $H^+$  lebih besar daripada ion  $OH^-$ , sebaliknya jika jumlah ion  $H^+$  dalam larutan tanah lebih kecil dari pada ion  $OH^-$  larutan tanah disebut bereaksi basa (alkali) atau miliki pH 8-14. Keasaman (pH) tanah sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan kegiatan hewan tanah.

Hewan tanah sangat sensitif terhadap pH tanah, sehingga pH tanah merupakan salah satu faktor pembatas. Toleransi hewan tanah terhadap pH umumnya bervariasi untuk setiap spesies (Edward & Lofty, 1977). Ada hewan tanah yang hidup pada tanah yang memiliki pH basa. Jenis hewan tanah yang memilih hidup pada tanah yang asam disebut dengan golongan asidofil, yang memilih hidup pada tanah yang basa disebut dengan golongan kalsinofil, sedangkan yang dapat hidup pada tanah asam dan basa disebut golongan indifferen atau netrofil (Suin, 2012).

Pengukuran derajat keasaman tanah (pH) perlu dilakukan saat mengkaji hewan tanah. Menurut Suin (2012) hewan tanah ada yang ditemukan hidup pada tanah bersifat asam, namun beberapa lainnya lebih menyukai hidup pada kondisi tanah basa. Hewan tanah yang lebih menyukai hidup pada kondisi asam disebut kelompok asidofil, sedang pada kondisi basa disebut kelompok kalsinofil. Beberapa hewan tanah yang hidup pada kondisi keduanya disebut kelompok indifferen. Kalorimeter dan pH meter adalah alat yang biasanya dipakai untuk mengukur derajat keasaman tanah.

## 3. Bahan Organik

Bahan organik adalah bagian dari tanah yang merupakan suatu sistem kompleks dan dinamis, yang bersumber dari sisa tanaman dan

atau binatang yang terdapat di dalam tanah yang terus menerus mengalami perubahan bentuk, karena dipengaruhi oleh faktor biologi, fisika, dan kimia. Bahan organik tanah adalah semua jenis senyawa organik yang terdapat di dalam tanah, termasuk serasah, fraksi bahan organik ringan, biomassa mikroorganisme, bahan organik terlarut di dalam air, dan bahan organik yang stabil atau humus. Bahan organik tanah mempengaruhi status sifat-sifat tanah, baik secara fisika, kimia, ataupun biologi (Suryani, 2007).

Bahan organik tanah umumnya bersumber dari jaringan tumbuhan yang sudah mati. Daun, ranting, cabang, batang, dan akar tumbuhan merupakan penyumbang sejumlah bahan organik. Bahan-bahan ini akan mengalami dekomposisi dan terangkut ke lapisan yang lebih dalam dari tanah. Hewan adalah penyumbang bahan organik kedua setelah tumbuhan. Hewan tanah akan menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan bila hewan mati maka tubuhnya merupakan sumber bahan organik baru (Adianto, 1993).

Bahan organik tanah persentasenya relatif kecil dibandingkan dengan komponen penyusun yang lain, namun demikian fungsinya melebihi komponen yang lain. Bahan organik tanah memiliki peran dan fungsi yang sangat vital di dalam tanah, ia berperan sangat penting dalam mempengaruhi ketiga sifat tanah. Terhadap sifat fisik tanah bahan organik tanah berperan penting dalam proses pembentukan dan mempertahankan kestabilan struktur tanah serta meningkatkan daya memegang air tanah (Iswaran, 1980).

Bahan organik tanah juga memberikan warna pada tanah, mengurangi plastisitas, dan kohesi tanah. Terhadap sifat kimia, bahan organik tanah berperan dalam meningkatkan KTK tanah, meningkatkan daya sangga tanah, sebagai unsur hara tanaman terutama N, P, S, dan unsur mikro, mampu mengikat atau menetralkan senyawa atau unsur yang beracun, membentuk dan melarutkan hara dari mineral-mineral tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Bahan organik tanah adalah sumber kehidupan karena menjadi sumber energi. Bahan organik tanah merupakan bagian dari sifat biologi tanah itu sendiri yang merupakan jiwa bagi tanah (Djajakirana, 2002; Sunanto, 2010).

Proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah memiliki beberapa tahapan proses. Tahapan pertama adalah tahap penghancuran bahan organik segar menjadi partikel yang berukuran kecil-kecil yang dilakukan

oleh cacing tanah dan makrofauna yang lain. Tahapan selanjutnya yaitu tahapan transformasi, yang mana pada tahap ini sebagian senyawa organik akan terurai dengan cepat, sebagian terurai dengan kecepatan sedang dan sebagian yang lain terurai secara lambat (Ma'shum *et al.*, 2003).

Bahan organik mempengaruhi status kelimpahan hewan tanah. Bahan organik yang berasal dari organ tumbuhan dan hewan yang sedang atau telah mengalami penguraian. Hewan tanah memiliki andil dalam penguraian bahan organik. Bahan organik diuraikan menjadi C-organik dan mineral/hara penting lainnya, berasal dari ikatan kompleks menjadi hara tersedia. Penyebaran dan struktur populasi hewan tanah berpengaruh langsung pada kadar kesuburan tanah dan juga produktivitas tanah. Hewan tanah akan memotong dan mengoyak bahan kompleks dan membuat menjadi fraksi-fraksi sederhana, sehingga terjadi dekomposisi dan terjadi siklus kimia. Proses pembentukan mineral dari organisme mati tersebut sangat membantu kehidupan tumbuhan karena tersedianya mineral-mineral untuk pertumbuhan (Suin, 2012).

Bahan organik selalu berubah seiring bertambahnya tumbuhan atau bagian organ yang mati dan aktivitas penguraian oleh organisme pengurai. Bahan organik menentukan sifat tanah, menggemburkan tanah, mendukung peningkatan dayaikat tanah terhadap air, peningkatan penyerapan kation, dan memastikan ketersediaan hara dalam tanah (Buckman & Brady, 1982). Bahan organik merupakan sumber makanan yang akan memberikan energi dan menjadi komponen pembentuk organ hewan tanah (Russel, 1988).

Menurut Sugiyarto *et al* (2007) variasi pakan yang ada mempengaruhi keanekaragaman hewan tanah. Apabila suatu arean ditumbuhi vegetasi yang melapuk secara lambat maka umumnya kepadatan populasi makrofauna tinggi misalnya cacing tanah, karena pakan tersedia dalam jangka panjang. Lavelle (1996) menegaskan bahwa populasi hewan tanah juga sangat tergantung pada kondisi organisme tanah yang lain. Organisme-organisme penghuni tanah saling akan saling mempengaruhi, terjadi hubungan timbal balik, membentuk interaksi mutualisme maupun predatorisme sehingga memunculkan jarring-jaring makanan yang kompleks (*food webs*).

Kandungan bahan organik tanah biasanya dilihat dengan mengukur karbon organik (C-organik). Karbon organik terkandung di dalam fraksi tanah organik, terdiri dari sel-sel mikroorganisme, tanaman dan sisa-

sisa hewan pada beberapa tahap dekomposisi, humus dan yang tertinggi senyawa karbon terdapat di arang, grafit dan batubara. C-organik di dalam tanah mungkin dapat diperkirakan dengan perbedaan diantara C-total dan C-inorganik. C-organik dapat ditetapkan langsung pada prosedur C-total setelah pemisahan C-inorganik atau pada teknik aliran oksidasi titrasi dikromat. Prosedur meliputi analisis C-total, biasanya meliputi semua bentuk C-organik di dalam tanah, sedangkan prosedur oksidasi dikromat meliputi perubahan bagian elemental C, dan dalam beberapa prosedur, melihat perubahan jumlah C-organik yang terkandung di dalam humus (Nelson & Sommer, 1982; Sananto, 2010).

Metode yang biasa dipakai untuk penentuan C-Organik adalah metode *Walkley and Black*. Metode ini dipakai karena dianggap sederhana, cepat, mudah dikerjakan dan membutuhkan sedikit peralatan. Tetapi bagaimanapun metode aliran  $K_2Cr_2O_7$  (metode *Walkley and Black*) memiliki beberapa kelemahan, yaitu adanya gangguan unsur tanah lain seperti  $Cl^-$ ,  $Fe^{2+}$ , dan  $MnO_2$  (Nelson & Sommer, 1982). Analisis kandungan C-organik tanah untuk melihat sifat tanah secara lebih rinci tentunya membutuhkan biaya yang lebih besar dan resiko yang lebih tinggi, mengingat mahal dan berbahayanya kalium dichromat ( $K_2Cr_2O_7$ ).

Menurut Sholichah (2006), kesulitan ini bisa diatasi dengan menggunakan data kehilangan bobot tanah untuk pendugaan kandungan C-organik dalam tanah. Berdasarkan hasil penelitian pengukuran kandungan C-organik tanah dengan menggunakan metode *Walkley and Black*, CHNS Analyser dan DTA (*Differential Thermal Analysis*) dan meregresikan hasil pengukuran kandungan C-organik dari ketiga metode tersebut, maka diperoleh hasil korelasi yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa kehilangan bobot tanah dapat digunakan untuk menduga kandungan C-organik tanah.

#### 4. Kelembaban dan Kadar Air Tanah

Kadar kelembaban tanah juga mempengaruhi status keanekaragaman hewan (Sutedjo *et al.*, 1996). Kelembaban tanah menjadi faktor kunci dan parameter utama pada proses hidrologi, kimia, dan biologi karena menentukan tersedia atau tidaknya air. Bagaimanapun air adalah faktor fundamental pendukung keberlanjutan kehidupan. Kelembaban tanah dapat didefinisikan sebagai partikel air yang dapat tertahan di ruang antara partikel tanah.

Menurut Lee (1985) kelembaban berhubungan dengan populasi hewan tanah. Tanah yang kering berdampak pada meningkatnya laju hilangnya air dari tubuh hewan tanah. Bila kondisi tersebut terus berlanjut maka akan memperkecil peluang kelulusan hidupnya. Pendapat ini didukung Nurhadi & Widiana (2009) berdasarkan hasil risetnya bahwa kelembaban tanah menjadi faktor penentu keberadaan hewan penghuni permukaan tanah. Menurut Russel (1988) bahan organik lebih banyak terakumulasi pada tanah dengan kadar kelembaban lebih tinggi dibandingkan dengan yang lebih rendah.

Kemampuan tanah untuk menyimpan atau menahan air disebut kapasitas lapang, hal ini dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah. Tanah yang berstruktur remah yang berada di horizon *top soil* dan tanah yang berstruktur halus mempunyai daya ikat yang besar terhadap air (Abdurrahman, 2011). Penentuan kadar air tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah metode gravimetrik. Metode gravimetrik merupakan metode konvensional yang memiliki akurasi yang cukup baik. Metode gravimetrik dilakukan dengan cara pengukuran berat tanah sebagai variabel. Prinsip metode ini adalah membandingkan berat air tanah terhadap berat tanah kering. Meskipun cara ini sederhana, namun metode gravimetrik harus dilakukan di laboratorium.

Adapun rumus perhitungan kadar air tanah menurut Hastuti & Ginting (2007) adalah sebagai berikut.

$$KA(\%) = \frac{bb \text{ (tanah + kaleng)} - bk \text{ (tanah + kaleng)}}{bb \text{ (tanah + kaleng)} - \text{berat kaleng}} \times 100\%$$

KA = kadar air contoh tanah (%)

bb = berat basah (g)

bk = berat kering (g)

Contoh: b (tanah + kaleng/cawan) 20g; bk (tanah + kaleng/cawan) 17,5g; dan berat kaleng/cawan 10g. Kadar air tanah (KA) tanah=  $\{(20-17,5) \times 100\% \} / (20-10) = 25\%$ .



## BAB 3

# HEWAN TANAH

### A. Klasifikasi Hewan Tanah

**H**ewan tanah adalah semua organisme yang hidup di tanah, baik di permukaan tanah maupun di dalam tanah (Poerwowidodo, 1992). Sebagian atau seluruh siklus hidup hewan tanah berlangsung di dalam tanah serta dapat berasosiasi dan beradaptasi dengan lingkungan tanah. Kelompok hewan tanah ini sangat banyak dan beranekaragam, mulai dari Protozoa, Rotifera, Nematoda, Annelida, Mollusca, Arthropoda, hingga Vertebrata kecil. Hewan tanah bertanggung jawab terhadap penghancuran dan sintesis organik (Suin, 2012).

Hewan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan pendekatan taksonomi dan fungsionalnya (Sugiyarto, 2000). Brussaard (1998) membedakan 3 kelompok fungsional organisme tanah, yaitu biota akar (Mikorizha, Rhizobium, dan Nematoda), *decomposer* (mikroflora, mikrofauna, dan mesofauna), dan "*ecosystem engineer*" (mesofauna dan makrofauna). Berbagai kelompok organisme dapat menunjukkan fungsi ganda, misalnya cacing tanah berperan sebagai dekomposer sekaligus "*ecosystem engineer*".

Klasifikasi hewan tanah dikelompokkan atas dasar ukuran tubuh (Lavelle & Spain, 2001; Suhardjono & Adisoemarto, 1997; Walwork, 1970), kehadirannya di tanah (Coleman *et al.*, 2004), habitat yang dipilihnya (Suin, 2012), caranya mempengaruhi sistem tanah (Rahmawaty, 2000; Rahmawaty, 2004), dan kegiatan makannya (Suin, 2012). Coyne & Thompson (2006) berpendapat bahwa cara termudah dan sederhana untuk mengklasifikasikan hewan tanah adalah berdasarkan ukuran atau panjang tubuh. Penjelasan-penjelasan klasifikasi hewan tanah adalah sebagai berikut.

### 1. Klasifikasi Berdasarkan Ukuran Tubuh

Sistem klasifikasi hewan tanah dapat didasarkan pada ukuran tubuh, yaitu mikrofauna, mesofauna, dan makrofauna. Namun, untuk ukuran tubuh sebagai dasar Klasifikasi itu memiliki banyak versi. Lavelle & Spain (2001) menjelaskan bahwa mikrofauna berukuran  $<0,2$  mm atau  $20-200\ \mu\text{m}$ , mesofauna yang berukuran  $0,2-2,0\text{mm}$ , dan makrofauna yang berukuran  $2,0-20\text{mm}$ . Wild (1993) mengklasifikasikan hewan tanah menjadi 3 kelompok, yaitu mikrofauna  $<0,1$  mm, mesofauna antara  $0,1-10$  mm, dan makrofauna  $>10$  mm. Wallwork (1970) mengelompokkan hewan tanah menjadi mikrofauna ( $0,2-2$  mm), mesofauna ( $2-10$  mm) dan makrofauna ( $>10$  mm).

Menurut Suhardjono & Adisoemarto (1997) “berdasarkan ukuran tubuh hewan tanah dikelompokkan menjadi: (1). Mikrofauna, kelompok binatang yang berukuran tubuh  $<0,15$  mm, seperti: Protozoa dan stadium pradewasa beberapa kelompok lain misalnya Nematoda, (2). Mesofauna, kelompok yang berukuran tubuh  $0.16-10.4$  mm dan merupakan kelompok terbesar dibanding kedua kelompok lainnya, seperti: Insekta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Nematoda, Mollusca, dan bentuk pradewasa dari beberapa binatang lainnya seperti kaki seribu dan kalajengking, (3). Makrofauna, kelompok binatang yang berukuran panjang tubuh  $>10,5$  mm, seperti: Insekta, Crustaceae, Chilopoda, Diplopoda, Mollusca, dan vertebrata kecil”.

Kelompok mesofauna terdiri atas Nematoda, Oligochaeta, Enchytracid, mikroarthropoda, Acarina dan Collembola. Adapula Oribatida, Proturan, Japygida, Scolopendrella, Pauropoda, Pauropus, Staphylinidae, Cheloneathid, Miliped, Centipede, dan larva Scarabarida (Odum, 1998). Salah satu organisme tanah adalah hewan yang termasuk dalam kelompok makrofauna terdiri dari Milipida, Isopoda, Insekta, Mollusca, dan Annelida. Hewan kelompok makrofauna tanah adalah Annelida, Mollusca, Arthropoda, dan vertebrata kecil, diantaranya yang paling banyak ditemukan hidup di tanah adalah dari kelompok Arthropoda, seperti: Insekta, Arachnida, Diplopoda, dan Chilopoda. Cacing tanah merupakan makrofauna yang paling dikenal dan dapat dikatakan yang terpenting dari hewan tanah, terutama peranannya sebagai “*ecosystem engineer*” (Coleman *et al.*, 2004).

Protozoa merupakan salah satu contoh mikrofauna. Tanah sangat kaya akan Protozoa yang berperan sebagai predator mikroba tanah.

Protozoa cenderung ditemukan pada pori-pori tanah (Killham, 1994). Makrofauna tanah mencakup Makroarthropoda, Oligochaeta (cacing tanah). Makrofauna tanah lebih resisten terhadap kondisi fisik dan kimia tanah dibandingkan hewan tanah lain yang lebih kecil. Hewan tanah yang dominan pada kelompok mesofauna adalah Rotifera, Tartigrada, dan Mikroarthropoda terutama Acari dan Collembola. Sebagian besar dari anggota mesofauna termasuk ke golongan *permanent residents* (Coyne & Thompson, 2006).

## 2. Klasifikasi Berdasarkan Kehadiran

Berdasarkan kehadirannya hewan tanah dibagi atas kelompok *transient*, *temporary resident*, *periodic*, dan *permanent* (Suin, 2012). Berdasarkan kehadirannya, Coleman *et al.* (2004) membagi hewan tanah menjadi empat kelompok. *Transient*, yaitu hewan yang saat fase tidur (istirahat/hibernasi) berada di dalam tanah, pada saat musim dingin sebaliknya hidup dan beraktivitas pada lapisan tanaman, contohnya "*Ladybird beetle*" atau *Hippodamea* sp. *Temporary resident*, yaitu hewan yang saat fase telur hingga "*juvenile*" berada di dalam tanah sedangkan pada fase dewasa hidup di atas permukaan tanah, contohnya *Tipula* sp (Diptera). Larva hewan ini mendapatkan makanan dengan cara mendekomposisi sisa-sisa serasah dalam tanah. *Periodic*, yaitu hewan yang menghabiskan hidupnya di dalam tanah. Fase dewasa terkadang hidup di atas permukaan tanah, contohnya *Forticula* sp (Dermaptera). *Permanent*, yaitu hewan yang secara permanen menetap di dalam tanah dan mampu beradaptasi pada berbagai kedalaman tanah, contohnya *Batrisodes* sp.

Berdasarkan keberadaannya di tanah, Hole (1981) membagi hewan tanah ke dalam 6 kategori, sebagai berikut: 1) Pemanen, yaitu hewan tanah yang seluruh hidupnya di dalam tanah, contohnya cacing tanah dan Collembola; 2) Sementara, yaitu hewan tanah yang satu fase daur hidupnya berada dalam tanah, contohnya larva serangga; 3) Periodik, yaitu hewan tanah yang sering berpindah-pindah masuk dan keluar dari tanah, contohnya bentuk-bentuk aktif serangga; 4) Bertukar-tukar, yaitu satu atau lebih generasi hewan tanah yang berada dalam tanah, generasi lainnya hidup di atas tanah, contohnya Rhopalosiphoninus dan Biorhiza; 5) Mendiami sementara, yaitu fase inaktif hewan tanah (telur, pupa, fase hibernasi) berada di tanah dan fase aktif tidak berada di tanah, contohnya serangga; 6) Kebetulan, yaitu hewan yang jatuh

atau tertiuip angin dari tajuk dan masuk ke dalam tanah, contohnya larva serangga dari tajuk pohon dan hewan permukaan yang jatuhnya ke dalam lubang tanah.

### 3. Klasifikasi Berdasarkan Habitat

Berdasarkan habitatnya hewan tanah ada yang digolongkan sebagai epigeon (hidup pada lapisan tumbuh-tumbuhan dipermukaan tanah), hemiedafon (hidup pada lapisan organik tanah) dan euedafon (hidup pada tanah lapisan mineral) (Suin, 2012). Handayanto & Hairiyah (2009), dan Lavelle *et al.* (1994) membedakan hewan tanah menjadi tiga kelompok berdasarkan habitatnya, yaitu hewan yang hidup pada lapisan tanah yang lebih dalam yaitu *Endogeic*. Hewan yang hidup pada serasah dan lapisan tanah yang lebih dangkal yaitu *Epigeic* dan hewan yang hidup pada permukaan tanah yaitu *Anecic*. *Anecic* terkadang juga terdapat pada tanah yang lebih dangkal.

*Endogeic* yaitu hewan yang hidup di dalam tanah, pemakan bahan organik dan akar tumbuhan yang mati serta liat (gephagus). Tipe ini disebut juga "*ecosystem engineer*". Cacing tanah yang tergolong tipe ini berkembang dan berinteraksi dengan mikroorganisme tanah untuk melepaskan enzim yang berguna dalam dekomposisi bahan organik yang berkualitas rendah. Beberapa jenis dapat menghancurkan bahan organik tanah, terutama "fraksi ringan" karena cacing tanah mampu memproduksi enzim tertentu.

*Epigeic* adalah kelompok hewan yang hidup dan makan dipermukaan tanah, berperan dalam penghancuran serasah dan pelepasan unsur hara tetapi tidak aktif dalam penyebaran serasah ke dalam profil tanah. Tipe ini disebut "*litter transformers*" atau "penghancur serasah", karena berperan dalam dekomposisi *in-situ* melalui fragmentasi dan melumatkan fisik serasah tanpa mengubah susuna kimianya.

*Anecicy* yaitu jenis hewan yang memindahkan serasah dari permukaan tanah dan aktif memakan serta bergerak ke dalam tanah untuk berlindung dari serangan predator maupun kondisi iklim yang kurang menguntungkan. Pengaruh utama *anecic* ini adalah memindahkan serasah dari lapisan serasah dan membawanya ke tempat atau lingkungan lain yang berbeda, misalnya tanah lapisan bawah. Keadaan ini mengubah secara dramatis kinetik dekomposisi dan penyebaran produk-produknya secara terpisah. Tipe ini disebut *ecosystem engineers* atau "kelompok

penggali”, tipe ini akan mempengaruhi sifat fisik tanah antara lain struktur dan konduktifitas hidrolik.

#### 4. Klasifikasi Berdasarkan Caranya Mempengaruhi Sistem Tanah

Berdasarkan kemampuan mempengaruhi sistem dalam tanah, hewan tanah dapat dikelompokkan menjadi dua, sebagai berikut. a) *Eksopedonik*, yaitu berpengaruh dari luar. Kelompok ini terdiri atas hewan berukuran besar, sebagian besar “tidak menghuni sistem tanah”, meliputi Mamalia, Aves, Reptil, dan Amfibi. b) *Endopedonik*, yaitu berpengaruh dari dalam. Kelompok ini terdiri atas hewan kecil dan sedang (umumnya berdiameter <1 cm), menetap dalam tanah sehingga berpengaruh terhadap penampilannya dari bagian dalam, meliputi Heksapoda, Myriopoda, Arachnida, Crustacea, Tardigrada, Onychopora, Oligochaeta, Hirudinea, dan Gastropoda (Rahmawaty, 2000).

#### 5. Klasifikasi Berdasarkan Makanan

Berdasarkan kegiatan makannya, hewan tanah ada yang bersifat herbivora, saprovara, fungivora, dan predator (Suin, 2012). Wallwork (1970) membagi hewan tanah berdasarkan pola makan. *Carnivore* yaitu predator dan binatang parasit, contohnya beberapa anggota Coleoptera, tungau mesostigmatid. Opiliones, Chelonitida, Scorpion, Centipede, Diptera, dan beberapa Nematoda. *Phytophagus*, terdiri dari pemakan tumbuhan (Mollusca dan larva Lepidoptera), fauna pemakan akar tanaman (Nematoda parasit tanaman, Symphyllidae, larva Diptera, Coleoptera, Lepidoptera, Mollusca dan Orthoptera pelubang) serta fauna pemakan kayu (rayap, larva kumbang dan tungau Pthiracaroidae). *Saprophagus*, yaitu hewan tanah pemakan tumbuhan mati atau bahan organik yang busuk (Lumbricidae, Enchytraeid, Isopoda, Milipedes, tungau, Collembola dan serangga). Beberapa dari mereka juga merupakan pemakan feses (*coprophages*), pemakan kayu (*xylophages*) dan pemakan bangkai (*necrophages*) yang seringkali disebut sebagai detritivor. *Microphytic-feeders*, yaitu pemakan jamur, spora, algae, lichen dan bakteri misalnya tungau Saprophagous, Collembola serta serangga pemakan fungi. *Miscellaneous-feeders*, yaitu pemakan tumbuhan dan hewan, kayu atau herba misalnya Nematoda, tungau Cryptostigmata, Collembola, larva Diptera dan larva Coleoptera.

Beberapa hewan tanah bersifat herbivora. Mereka memakan tumbuhan, hidup dekat atas akar, dan sekaligus memakan tumbuhan

yang telah mati. Bila hewan tersebut telah mati, maka jasad mereka juga memberi nutrisi bagi tumbuhan dan hewan lain. Hewan tanah adalah kelompok heterotrof utama tanah atau “makhluk hidup di luar tumbuh-tumbuhan dan bakteri yang hidupnya tergantung dari tersedianya makhluk hidup produsen”. Dekomposisi di tanah akan terhambat bila makrofauna dan mesofauna tidak bekerja.

Kehadiran hewan tanah bergantung pada ada tidaknya sumber energi. Perkembangan dan aktivitas hewan tanah akan berlangsung baik apabila faktor lingkungan baik dan secara timbal balik akan memberikan dampak positif bagi kesuburan tanah. Interaksi antar hewan tanah merupakan pasti terjadi sebab hewan tanah menjadi penyusun *food webs* di tanah (Arief, 2001; Rahmawaty, 2004).

Proses dekomposisi berlangsung sebagai berikut: makrofauna akan mencacah materi yang mati, kemudian masuk ke usus dan selanjutnya dibuang dalam bentuk butiran feses. Butiran feses akan dimakan mesofauna maupun makrofauna lain yang selanjutnya diekskresikan dalam bentuk butiran feses. Materi tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme khususnya kelompok bakteri. Butiran feses itu dapat pula dimakan oleh mikrofauna dan mengalami proses perombakan karena adanya aktivitas enzim spesifik pencernaan mikrofauna tersebut. Dekomposisi semakin berjalan sempurna manakala hasil ekskresi mikrofauna diuraikan mikroorganisme sampai pada tahap pembentukan mineral. Proses tersebut juga menyebabkan mikroorganisme yang mati menghasilkan mineral-mineral yang berguna bagi tumbuhan (Rahmawaty, 2004). Apabila kita memahami aliran energi sebagaimana yang diuraikan tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa hewan tanah khususnya mesofauna dan mikrofauna memaksimalkan proses penguraian materi sampai pada struktur sederhana yang dapat digunakan tumbuhan untuk hidup.

## 6. Klasifikasi Berdasarkan Fungsinya dalam Ekosistem

Menurut Breure (2004) dan Widyati (2013) ukuran hewan tanah akan mempengaruhi fungsinya dalam ekosistem. Berdasarkan hal tersebut, hewan tanah dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok “pengendali biologi” dan kelompok “perekayasa lingkungan”. Mikrofauna dan mesofauna (misalnya Protozoa, Nematode, Collembola, dan *mites*) termasuk dalam kelompok pengendali biologi yang menentukan besar

kecilnya populasi bakteri dan jamur dalam suatu ekosistem. Kelompok ini akan memakan bakteri dan jamur sehingga populasi patogen dapat terkendali. Makrofauna (misalnya cacing tanah, rayap, dan semut) termasuk dalam kelompok perekayasa lingkungan. Saat terjadinya proses penguraian dan partikel-partikel bahan organik akan didistribusikan oleh semut, rayap, maupun cacing tanah.

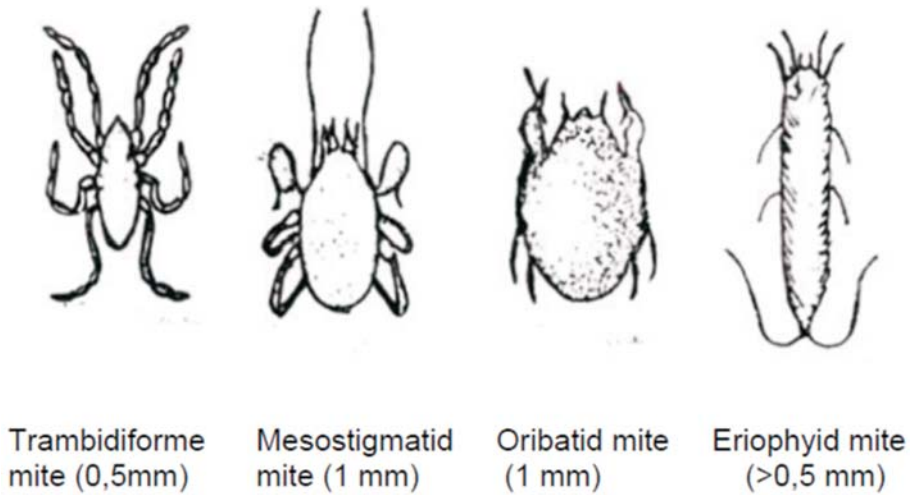
*Bio Intelligence Service, Europe Commission* sejak 2010 telah mengelompokkan makhluk hidup penghuni tanah atas dasar fungsinya dalam tiga kelompok, yaitu kelompok perekayasa kimia (*chemical engineers*), kelompok regulator kehidupan (*biological regulator*), dan kelompok perekayasa ekosistem (*ecosystem engineers*). Makhluk hidup yang termasuk kelompok perekayasa kimia adalah bakteri, jamur dan protozoa. Mereka melakukan fungsi proses penguraian bahan organik menjadi mineral siap pakai/hara. Makhluk hidup yang termasuk kelompok pengendali kehidupan, yaitu golongan avertebrata tanah seperti Nematoda, Collembola, mites, laba-laba dan semut. Kelompok ini mengendalikan dinamika populasi makhluk hidup lainnya. Kelompok pengendali kehidupan akan memakan tumbuhan, avertebrata lain, dan mikroba. Makhluk hidup termasuk kelompok perekayasa ekosistem ketika mampu menyediakan materi atau menata habitat makhluk hidup yang lain (Widyati, 2013).

## **B. Uraian Contoh Hewan Tanah Penting**

Bagian ini hanya difokuskan pada Collembola, Acarina dan beberapa hewan lainnya karena hewan ini relatif mempunyai distribusi luas, dapat hidup di daratan yang bertemperatur  $-60^{\circ}$  sampai  $>40^{\circ}\text{C}$ . Menurut Damayanti (2011) dan Sa'adah (2010) berikut adalah contoh beberapa hewan tanah yang sering dijumpai pada hasil penelitian.

### **1. Acarina**

Acarina merupakan salah satu dari sejumlah besar kelompok arthropoda yang dapat ditemukan di mana-mana. Kebanyakan dari organisme ini sangat kecil, hidup bebas dan merupakan jenis penghuni tanah sampah. Menurut Wallwork (1970) distribusi Acarina melimpah di seluruh dunia. Menurut Kabar *et al* (2007) pada tahun 1999 telah ditemukan sekitar 50.000 jenis anggota Acarina, sebagian besar mempunyai kaki 4 pasang, tetapi ada yang mempunyai 2 pasang bahkan 1 pasang kaki. Gambar 3.1 menunjukkan 4 contoh Acarina.



**Gambar 3.1. Contoh Acarina di Tanah**

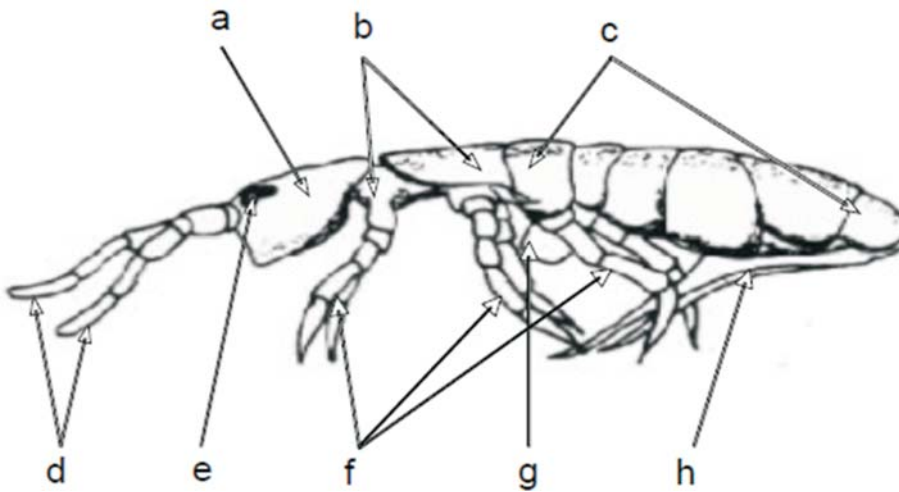
(Sumber: Kabar *et al*, 2007).

Kelompok Acari yang sering dijumpai di tanah yaitu Oribatida, Prostigmata, Mesostigmata dan Astigmata. Oribatida merupakan kelompok saprophagus. Sedangkan mesostigmata merupakan kelompok Acari yang hampir seluruh anggotanya merupakan predator bagi hewan lain yang berukuran kecil (Coleman *et al.*, 2004). Acarina memiliki panjang tubuh antara 0,1 mm sampai 2 mm. Bentuk tubuh bervariasi dengan warna tubuh dari coklat muda sampai hitam. Ukuran tubuh Acarina akan mengecil seiring dengan kedalaman tanah tempat tinggalnya (Gobat *et al.*, 2004). Kelompok hewan ini secara langsung berperan dalam proses dekomposisi bahan organik dan dapat mempercepat proses penghancuran bahan organik (Adianto, 1993). Wallwork (1970) menyatakan bahwa lahan yang mempunyai pH tanah yang bersifat masam, diperkirakan populasi hewan tanah yang paling menonjol adalah kelompok Acarina dan Collembola.

## 2. Collembola

Collembola dikenal dengan nama *Springtails* atau ekor pegas karena adanya pelenting tubuh pada bagian ekor yang disebut furcula. Ukuran tubuh Collembola berkisar antara 0.25 mm sampai 8 mm dengan warna tubuh bervariasi dari pucat hingga mencolok (Coleman *et al.*, 2004). Gambar 3.2 menunjukkan struktur tubuh Collembola.





**Gambar 3.2. Struktur Tubuh Collembola**

(Sumber: Kabar *et al*, 2007).

Keterangan: a). kepala (caput), b). dada (thorax) terdiri dari 3 ruas (segmen), c). badan (abdomen) terdiri dari  $\geq 6$  segmen, d). antena, terdiri atas 4-6 ruas sebagai alat peraba, e). mata majemuk telah mereduksi, tidak lebih dari 8 omatidia, f). kaki beruas (3 pasang), g). kolofor (tabung ventral) terdapat di badan pada ruas I sebagai alat pelek, h). furkula, alat pegas untuk melompat.

Collembola memiliki jumlah cukup banyak dan penyebarannya cukup luas. Kebanyakan kelompok hewan ini merupakan penghuni tanah, tetapi sebagian besar menghabiskan hidupnya di atas permukaan tanah. Makanannya cukup bervariasi misalnya materi tumbuhan yang telah hancur, jamur, sisa-sisa hewan, feses dari hewan lain dan humus (Adianto, 1993).

Peranan Collembola menurut Gobat *et al*. (2004) adalah menghancurkan bahan organik ke dalam ukuran yang lebih kecil kemudian mencampurnya. Collembola juga berpengaruh pada dinamika populasi fungi karena kebiasaannya memakan hifa fungi dan spora fungi. Wallwork (1970) menyatakan bahwa lahan yang mempunyai pH tanah yang bersifat masam, diperkirakan populasi hewan tanah yang paling menonjol adalah kelompok Acari dan Collembola.

### 3. Coleoptera

Ordo Coleoptera atau kumbang tanah adalah ordo yang terbesar dari serangga-serangga dan mengandung kira-kira 40% dari jenis

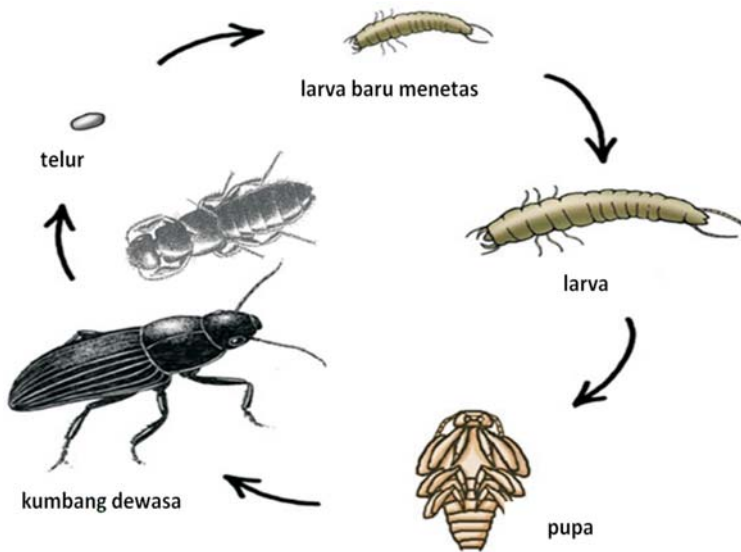
yang terkenal dalam Hexapoda (sekitar 350,000 jenis) dan spesies baru masih sering ditemukan. Diperkirakan total jumlah jenis antara 5 dan 8 juta. Purnomo (2010) menyatakan bahwa Ordo Coleoptera adalah ordo dengan jumlah terbesar dalam kelas insekta, mencapai lebih dari 110 famili.

Menurut Suhara (2009) Coleoptera dapat ditemukan hampir di semua habitat. Interaksi dengan ekosistem dilakukan dengan berbagai cara. Mereka memakan tumbuhan dan jamur, merusak pertahanan binatang dan tumbuhan, dan memangsa invertebrata lain. Beberapa jenis dimangsa berbagai binatang seperti burung dan mamalia. Jenis tertentu merupakan hama pertanian dan adapula yang berperan sebagai predator sehingga berperan sebagai kontrol penting hama pertanian. Famili yang sangat penting di dalam pengendalian hayati adalah Coocinellidae, Carabidae, dan Staphylinidae.

Coleoptera merupakan sebagian dari Insekta yang tinggal di dalam atau di atas tanah dalam bentuk larva dan dewasa. Beberapa jenis menghabiskan hidupnya di dalam sampah sedangkan yang lainnya menggali tanah dengan kedalaman beberapa cm, membawa kotoran atau bentuk bahan organik lainnya ke dalam tanah tersebut (Adianto, 1983). Beberapa kumbang dewasa berperan dalam pembongkaran bahan organik dan memperbaiki struktur permukaan tanah. Ordo ini dapat ditemukan pada hampir setiap habitat banyak yang sebagai pemakan tumbuh-tumbuhan, banyak yang bersifat pemangsa dan beberapa pemakan zat-zat organik yang membusuk sehingga banyak yang merugikan terutama dalam bidang budidaya tanaman. Selain itu ada beberapa famili ordo Coleoptera tanah juga memiliki peran pembongkaran bahan organik.

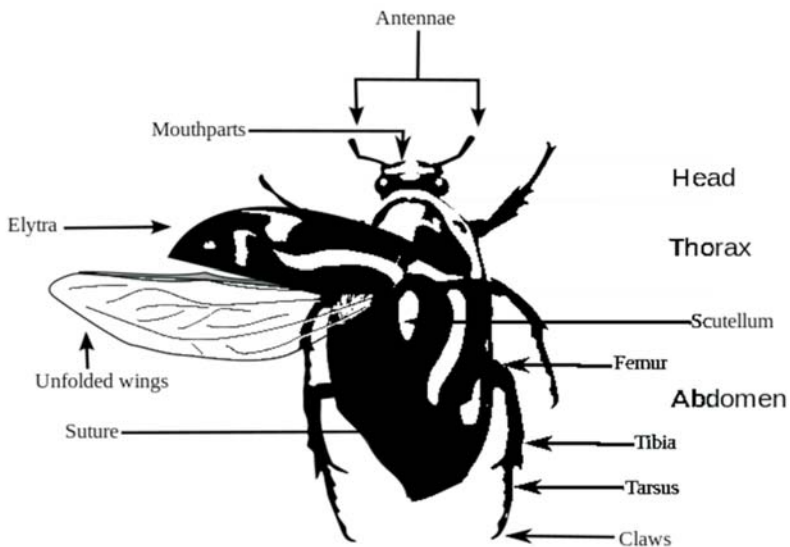
Menurut Irwan (1992) Coleoptera seperti makrofauna tanah lainnya mempunyai peran yang sangat beragam didalam habitatnya. Pada ekosistem binaan, keberadaan dapat bersifat menguntungkan maupun merugikan bagi sistem budidaya. Coleoptera di satu sisi berperan menjaga kesuburan tanah melalui perombakan bahan organik, distribusi hara, peningkatan aeresi tanah dan sebagainya, tetapi pada sisi lain juga dapat berperan sebagai hama berbagai jenis tanaman budidaya. Dinamika populasi mereka tergantung pada faktor lingkungan yang mendukungnya, baik berupa sumber makanan, kompetitor, predator maupun keadaan lingkungan fisika-kimia.

Adapun siklus hidup dan morfologi Coleoptera ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3. Siklus Hidup Coleoptera**

(Sumber: diolah dari <http://digitalinsectcollection.wikispaces.com>)



**Gambar 3.4. Morfologi Coleoptera**

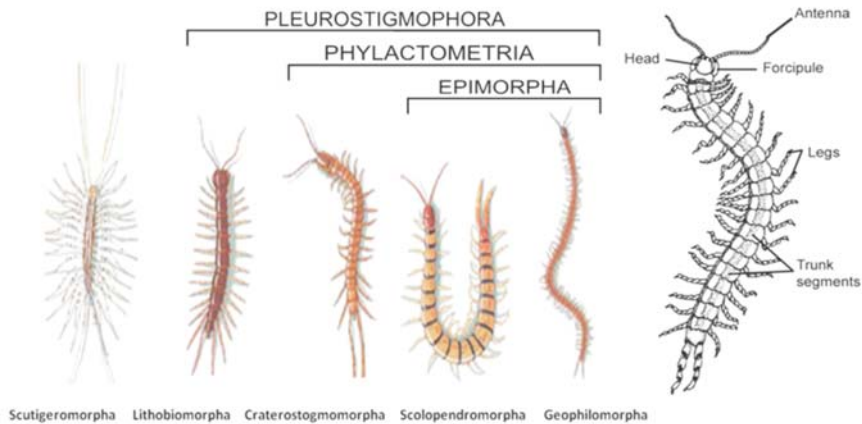
(Sumber: diolah dari <http://digitalinsectcollection.wikispaces.com>)

#### 4. Centipede

Centipede (Chilopoda) adalah kelompok predator yang biasa terdapat dalam tanah, sampah dan habitat cryptozoa. Memiliki ciri berupa tubuh yang panjang, datar dan gerak yang aktif. Biomassa Centipede terdapat dari hutan hingga gurun pasir. Scolopendromorpha panjangnya 15 cm. Centipede areal tropis dapat mencapai 30 cm dan berwarna kecoklatan, Centipede yang datar biasanya terdapat pada sampah kayu keras dalam habitat hutan.

Centipede geophilomorph bertubuh panjang, ramping seperti yang terdapat pada habitat hutan edafik dimana mereka biasa memangsa cacing tanah, Enchytraeids dan larva Diptera. Centipede kehilangan air melalui kulit luarnya pada kelembaban relatif rendah. Mereka menghindari kekeringan, mencari habitat basah, dan menyesuaikan aktivitas harian dengan waktu lengas di habitat gurun dan bukit pasir. Semua Centipede adalah predator. Mereka aktif memangsa hewan kecil seperti Collembola (Coleman *et al*, 2004).

Secara umum, penggolongan Centipede dan morfologi Centipede ditunjukkan Gambar 3.5.



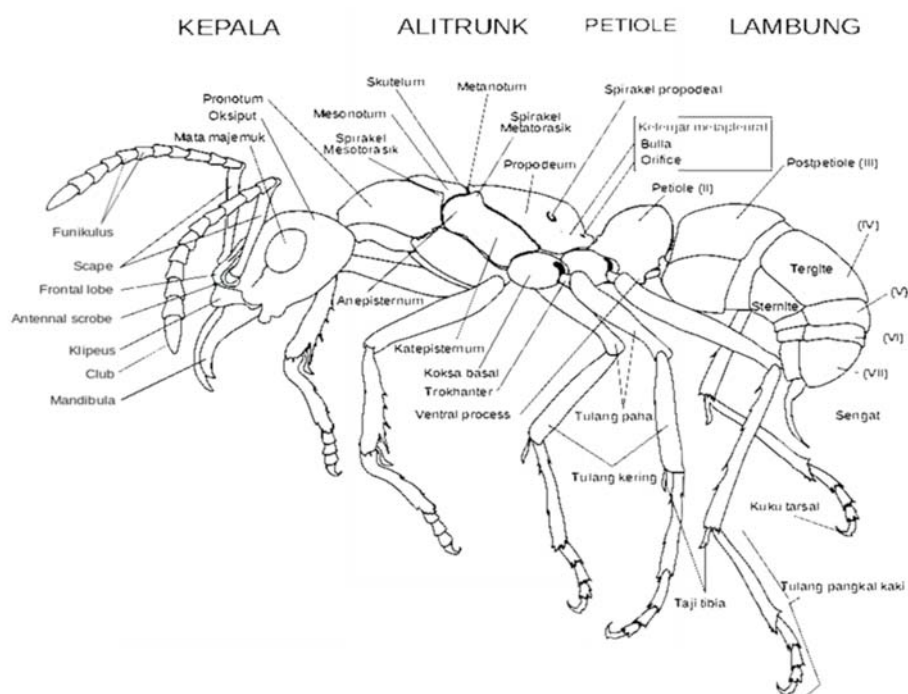
**Gambar 3.5. Penggolongan dan Morfologi Centipede**

(Sumber: diolah dari <http://www.nhm.ac.uk> dan [www.marlin.ac.uk](http://www.marlin.ac.uk))

#### 5. Hymenoptera

Hymenoptera merupakan salah satu ordo serangga yang terbesar dan memiliki peranan sebagai *ecosystem engineer* bersama cacing tanah dan rayap. Kelompok hewan ini termasuk serangga sosial atau serangga

yang hidupnya berkoloni (Coleman *et al.*, 2004). Hymenoptera umumnya merupakan phytophagus dan dalam habitatnya akan berperan sebagai predator utama hewan yang berukuran kecil seperti Acari (Gobat *et al.*, 2004). Hymenoptera, terutama yang berasal dari kelompok Formicidae memiliki pengaruh yang besar terhadap struktur tanah, terutama di lingkungan gurun dimana cacing tanah memiliki kepadatan rendah. Tingginya kepadatan Hymenoptera pada suatu habitat akan mengurangi kepadatan predator lain pada habitat tersebut, seperti Araneae dan Coleoptera (Coleman *et al.*, 2004). Adapun morfologi Hymenoptera sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.6.



**Gambar 3.6. Morfologi Hymenoptera Secara Umum**

(Sumber: diolah dari <http://www.wikimedia.org>)

## 6. Cacing Tanah

Cacing tanah merupakan anggota Oligochaeta yang memiliki posisi strategis pada proses penguraian bahan organik. Cacing tanah akan mengkonsumsi daun dan organ tumbuhan lain yang jatuh atau mati lalu menjadikannya sebagai komponen kecil yang kemudian

didekomposisi oleh mikroba. Cacing tanah juga memiliki andil dalam mendorong peningkatan populasi mikroorganisme tanah. Menurut Parmelee *et al.* (1990) usus cacing tanah menjadi tempat yang baik bagi perkembangbiakan mikroorganisme tanah. Pada kondisi tertentu jumlah mikroorganisme jauh lebih banyak dibandingkan yang ada dalam tubuh tanah. Oleh karena itu, cacing tanah layak disebut sebagai media pembenihan mikroorganisme tanah. Cacing akan mendistribusikan bahan organik ke lapisan atas ataupun bawah (lapisan dalam) sehingga mendorong peningkatan kesuburan tanah. Cacing tanah juga akan menyebarkan mikroorganisme dan pori-pori yang tercipta akibat aktivitas cacing ini menambah laju aerasi tanah.

Cacing tanah yang akhirnya mati menjadi sumber pakan bagi mikroba dan menjadi penyumbang ketersediaan unsur hara bagi kesuburan tanah. Tiap luasan 1 ha tanah dapat hidup 500.000 ekor cacing tanah dan membuat sekitar 50 ton kasting dan menggali lubang di dalam tanah untuk sistem saluran irigasi setara panjang 2.000 kaki dengan diameter 6 inci. Aktivitas cacing tanah dipengaruhi oleh kadar air, tipe tanah, jenis tumbuhan (yang mempengaruhi sifat serasah), dan kadar keasaman tanah. Lubang atau pori yang dibentuk oleh cacing cenderung berbeda, ada yang mendorong massa tanah, sementara yang lain akan memakan tanah (Anwar, 2007).

Kelompok geofagus akan memakan masa tanah, dan kelompok *litter feeder*/limifagus biasanya dengan mendesak masa tanah. Lubang yang dibentuk berfungsi sebagai tempat mencerna dan menyimpan makanan, selain sebagai pendukung mobilitas, menghindari cahaya, menghindari pemangsa dan respon terhadap tekanan lingkungan (Schwert, 1990; Anwar, 2007). Lubang cacing dari *Lumbricus terrestris* berdiameter lebih kurang 0,8 cm dan dapat menghubungkan antara horison A dan lapisan subsoil (Fanning & Fanning, 1989). Pada tanah *Typic Paleudalf* didapatkan banyak lubang cacing dan kotorannya (*casting*) pada perlakuan tanpa olah tanah. Pada perlakuan pengolahan tanah secara konvensional tidak ditemukan (Drees *et al.*, 1994).

Semua cacing tanah tergolong biseksual hermaprodit. Meskipun begitu, cacing tidak bisa melakukan auto-fertilisasi. Saat melakukan proses reproduksi, dua ekor cacing tanah berkopulasi untuk mempertukarkan sel sperma. Cacing tanah merupakan organisme nocturnal (aktif di malam hari), karena umumnya aktivitasnya menjauhi cahaya (fototaksis negatif).

Beberapa metode sampling kuantitatif dan kualitatif bagi cacing tanah (*Lumbricidae*) adalah metode sortasi dengan tangan, ekstraksi kimia dan ekstraksi listrik. Tidak satupun metode ini sempurna bagi segala lingkungan dan bagi setiap jenis. Sortasi dengan tangan merupakan teknik paling efisien, walaupun cacing yang belum dewasa dan kecil tidak mudah dilihat dan spesimen yang rusak juga harus diperhitungkan. Penggunaan bahan kimia merupakan cara yang paling banyak digunakan, walaupun keefektifannya bervariasi untuk tiap jenis, habitat, kondisi tanah, dan saat pengambilan. Metode dimamis yaitu dengan menggunakan umpan dan rumen segar sering digunakan sebagai umpan. Penggunaan listrik saat ini jarang digunakan. Cacing tanah dikeluarkan dengan menggunakan arus listrik dari generator atau aki (Schwert, 1990).

Keanekaragaman cacing tanah dapat digunakan untuk monitoring sistem pertanian yang berbeda-beda, serta untuk mengevaluasi tanah yang terkontaminasi residu pestisida, pengolahan tanah, pemadatan dan bahan organik (Paoletti *et al*, 1992; Qudratullah *et al*, 2013). Populasi cacing tanah sangat bergantung pada faktor fisik-kimia tanah dan sumber makanan (Suin, 2012). Hasil penelitian Maftu'ah dan Susanti (2009) menemukan spesies cacing tanah yang paling dominan di lahan pertanian gambut di Kalimantan Tengah, yaitu *Pontoscolex corethrurus* dan keanekaragaman cacing tanah tertinggi terdapat pada kebun nenas. Wibowo (2000) juga menunjukkan bahwa lahan pertanian dengan masukan bahan organik berkualitas tinggi (C/N rendah) lebih disukai oleh cacing tanah. Gambar cacing dan perlakuan saat identifikasi ditunjukkan Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Cacing Dewasa (Foto Kiri); Tangan Harus Selalu dalam Keadaan Lembab pada Saat Identifikasi Cacing Tanah (Foto Kanan)**

(Sumber: James, 2005).

Organisme ini suka lingkungan lembab dengan bahan organik yang berlimpah, dan berlimpahnya kalsium tersedia. Cacing tanah terdapat dalam tanah bertekstur halus dengan kandungan bahan organik tinggi dan merupakan asam keras. Cacing tanah pada umumnya membuat rongga yang dangkal dan makan bahan tanaman setiap malam. Beberapa bahan tanaman diseret ke dalam lubang. Jenis cacing tanah yang lainnya ada yang menyerap bahan organik yang ada di dalam tanah. Kotoran dan buangan ditimbun dalam tanah bercampur menyatu dengan bahan tanah, membentuk alur, dan memakan daun-daunan yang rontok sehingga tanah menjadi lebih terbuka dan porous. Saluran yang terbuka di permukaan tanah akan meningkatkan infiltrasi. Cacing tanah secara normal menghindari tanah jenuh. Jika mereka muncul sepanjang hari saat terjadi hujan, mereka akan mati oleh radiasi ultraviolet. Cacing tanah juga memakan ilalang dan membantu mencegah ilalang menjadi gulma.



## **BAB 4**

# **KAJIAN FUNGSI HEWAN TANAH**

### **A. Peran Hewan Tanah Secara Umum**

**H**ewan tanah merupakan salah satu komponen ekosistem tanah yang berperan dalam memperbaiki struktur tanah melalui penurunan berat jenis, peningkatan ruang pori, aerasi, drainase, kapasitas penyimpanan air, dekomposisi bahan organik, pencampuran partikel tanah, penyebaran mikroba, dan perbaikan struktur agregat tanah (Witt, 2004). Walaupun pengaruh hewan tanah terhadap pembentukan tanah dan dekomposisi bahan organik bersifat tidak langsung, secara umum dapat dipandang sebagai pengatur terjadinya proses fisik, kimia maupun biokimia tanah (Hill, 2004).

Berbagai jenis hewan tanah yang umumnya termasuk anggota invertebrata telah banyak dilaporkan memegang peranan penting dalam proses-proses yang terjadi di dalam ekosistem, terutama di daerah tropis (Lavelle *et al.*, 1994). Peran hewan tanah adalah mendekomposisi bahan organik, berbentuk segar, setengah segar, lapuk, maupun mati membentuk senyawa yang lebih sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan atau meningkatkan kesuburan tanah (Buckman & Brady, 1982).

Peran hewan tanah pada ekosistem tanah cukup besar dalam menentukan kualitas dan struktur tanah. Peran hewan tanah dalam proses perombakan bisa terlaksana secara langsung ataupun tidak langsung. Secara langsung karena memakan dan menghancurkan bahan organik, dan secara tidak langsung berupa keikutsertaannya dalam meningkatkan jumlah mikroflora tanah yang juga berperan dalam proses perombakan bahan organik (Deshmukh, 1992).

Komponen biotik di dalam tanah memberi sumbangan terhadap proses aliran energi dari ekosistem tanah. Kelompok biotik ini melakukan penguraian sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah mati (dekomposisi). Hewan tanah merupakan salah satu komponen dalam

ekosistem tanah, berperan dalam memperbaiki struktur tanah melalui penurunan berat jenis (*bulk density*), peningkatan ruang pori, aerasi, drainase, kapasitas penyimpanan air, dekomposisi sisa organik, pencampuran partikel tanah, dan penyebaran mikroba (Anwar *et al.*, 2006; Hanafiah *et al.*, 2003).

Mikrofauna memacu proses dekomposisi bahan organik dengan memperkecil ukuran bahan dengan enzim selulase yang kemudian dimanfaatkan oleh mikroba perombak lainnya. Mesofauna dan makrofauna selain memperkecil ukuran bahan organik, aktivitas metabolismenya menghasilkan feses yang mengandung berbagai hara dalam bentuk tersedia bagi tanaman dan biota tanah lainnya. Beberapa makrofauna seperti cacing tanah mempunyai peranan penting dalam mempengaruhi kesehatan dan produktivitas tanah. Lubang cacing merupakan rongga-rongga dalam tanah yang dapat meningkatkan aerasi, penetrasi akar, dan infiltrasi air (Curry & Good, 1992). Kotoran cacing (*casting*) merupakan campuran tanah dengan bahan organik yang telah dicerna yang mengandung berbagai hara yang tersedia bagi tanaman (Lake & Supak, 1996).

Makrofauna tanah merupakan bagian dari biodiversitas tanah yang berperan penting dalam perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah melalui proses imobilisasi dan humifikasi. Saat proses dekomposisi bahan organik, makrofauna tanah lebih banyak berperan dalam proses fragmentasi (*comminusi*) serta memberikan fasilitas lingkungan (mikrohabitat) yang lebih baik bagi proses dekomposisi lebih lanjut. Proses dekomposisi dilakukan oleh kelompok mesofauna dan mikrofauna tanah serta berbagai jenis bakteri dan fungi (Sugiyarto, 2000). Beberapa jenis makrofauna tanah tidak hanya mampu melapukkan (memecah) bahan organik, tetapi juga mampu merangsang kehadiran beberapa jenis mikroba untuk berasosiasi mempercepat proses dekomposisi (Sazali, 2015).

Hewan tanah melaksanakan dua proses yang berlainan dalam perombakan. Pertama, pengecilan adalah reduksi ukuran partikel organik, yang terjadi berkat aktivitas makan hewan-hewan tanah. Kedua, katabolisme adalah pemecahan secara biokimia molekul organik kompleks berkat proses pencernaan hewan dan mikroflora tanah (Deshmukh, 1992). Selain berperan dalam proses perombakan bahan organik dan memperbaiki struktur tanah, hewan tanah juga berperan menaikkan nilai tukar kation dan menyumbang nitrogen bagi tanah. Dalam

hubungan timbal balik dengan mikroba, hewan tanah akan melakukan fungsi meremah atau mencacah, memakan, melakukan proses enzimatik sehingga membantu perombakan oleh mikroba, dan membantu pertukaran kimia hasil dekomposisi bahan organik (Khairia, 2009).

Tanah yang kekurangan bahan organik menjadi padat, karena salah satu fungsi bahan organik adalah untuk memperbaiki tekstur dan struktur tanah. Fungsi lain bahan organik adalah sebagai sumber mineral sehingga di dalam tanah tersedia unsur hara yang diperlukan tanaman. Bahan organik secara berangsur-angsur mengalami mineralisasi membentuk hara di dalam tanah. Kondisi tanah yang kekurangan bahan organik akan menyulitkan tanaman menyerap unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman (Hardjowigeno, 1995). Hewan tanah menata aerasi tanah karena adanya lubang yang dibentuk sedemikian sehingga sirkulasi udara berlangsung maksimal. Eksresi yang dilakukan hewan tanah atau ketika ia mati menjadi penyedia unsur hara pada tanah (Suin, 2012). Hewan tanah adalah kelompok heterotrof utama. Proses perombakan akan berjalan sangat lambat bila tidak didukung kehadiran hewan tanah (Rahmawaty, 2004). Hewan tanah umumnya terakumulasi dalam jumlah besar pada bagian *top soil*. Bagian atas tanah ini menjadi media yang paling baik dalam mendukung aktivitas hidup hewan tanah (Adianto, 1993).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Arief (2001) menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam hal siklus nitrogen pada tanah yang mengalami penambahan hewan tanah, sebesar 20%-50%. Hewan tanah menjadi organisme utama dalam proses pembusukan bahan organik, melalui mekanisme berikut.

1. Menghancurkan organ tumbuhan dan hewa secara fisik dan menyediakan mediapertumbuhan bagi bakteri dan jamur.
2. Membantu pembusukan gula, selulosa, dan lignin.
3. Melakukan proses humifikasi (pembentukan humus).
4. Mengaduk dan mencampurkan bahan yang terdekomposisi tanah di atas atau di bawahnya,
5. Memantapkan daya gabung dan agregat bahan organik dengan mineral-mineral (Barnes *et al*, 1997).

Hewan tanah bukan merupakan subsistem produsen tetapi sebagai subsistem konsumen dan subsistem dekomposisi. Subsistem dekomposisi

menunjukkan peran hewan tanah sebagai makhluk hidup yang mula-mula merombak bahan organik. Hewan tanah akan mencacah, melumat, mengunyah, dan mencampur materi tersebut dengan bahan organik lainnya membentuk fragmen kecil sebelum dirombak (dekomposisi) mikroba (Arief, 2001).

Hewan tanah (disebut serangga sosial) di hutan trofis diprediksi memiliki peran empat kali lebih besar dalam siklus energi dibanding vertebrata. Hewan tanah mampu melakukan perubahan besar dalam lapisan *top soil*. Akar tanaman yang mati dan bagian tumbuhan lainnya diperoleh dengan mudah, dibusukkan oleh jamur, bakteri-bakteri, dan kelompok makhluk hidup lainnya (Ariani, 2009; Sutedjo *et al.*, 1996).

Adapun peranan hewan tanah yang berpengaruh terhadap sifat tanah dalam ekosistem dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1. Peranan Hewan Tanah Terhadap Sifat Tanah dalam Ekosistem**

Hewan tanah	Aktivitas	Peranan terhadap Tanah
<b>Mikrofauna</b>	Mengatur populasi bakteri dan fungsi Perombakan unsur hara	Mempengaruhi struktur agregat tanah dan berinteraksi dengan mikroflora
<b>Mesofauna</b>	Mengatur populasi fungi dan mikrofauna Perombakan unsur hara Menghancurkan sisa tanaman	Menghasilkan <i>fecal pellets</i> Menciptakan biopore Meningkatkan humifikasi
<b>Makrofauna</b>	Menghancurkan sisa tanaman Merangsang kegiatan mikroorganisme	Mencampurkan bahan organik dan bahan mineral Penyebaran bahan organik dan mikroorganisme Menciptakan biopore Meningkatkan humifikasi Menghasilkan <i>fecal pellets</i>

(Sumber: Dewi, 2011)

Menurut Sa'adah (2010) keberadaan hewan memiliki peranannya terhadap sifat-sifat tanah, yaitu:

## 1. Sifat Fisik Tanah

Hewan tanah khususnya cacing tanah berpengaruh nyata terhadap struktur tanah melalui aktivitasnya dalam menggali tanah, mengangkut dan mencampurkan bahan mineral dengan bahan organik yang ada serta pergerakannya dalam memasukkan bahan organik ke horizon yang lebih dalam dan menghasilkan casting. Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas 10 ekor cacing tanah selama 3,5 bulan mampu mempengaruhi bobot isi, pori total, penetrabilitas, indeks stabilitas agregat dan permeabilitas tanah. Terpeliharanya biopori oleh hewan tanah akan membentuk agregat tanah yang mantap dan menunjukkan terpeliharanya struktur tanah yang baik. Pada akhirnya kondisi ini mendukung terpeliharanya fungsi hidrologis kawasan pemukiman sebagai bagian dari tangkapan air (*catchment*) dan memudahkan peresapan air.

## 2. Sifat Kimia Tanah

Peranan hewan tanah terhadap sifat kimia tanah terutama disebabkan oleh aktivitasnya dalam mempercepat proses dekomposisi bahan organik yang berkaitan dengan penyediaan unsur hara yang penting untuk pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas cacing tanah dapat meningkatkan pH tanah dari kondisi awal 5,9 meningkat menjadi 6,8. Secara umum hewan tanah dipandang sebagai pengatur terjadinya proses biogeokimia dalam tanah. Hewan tanah berperan dalam menentukan kesuburan tanah bahkan beberapa jenis hewan tanah dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesehatan tanah di suatu daerah pertanian. Cacing tanah dapat memindahkan insektisida dari permukaan tanah ke dalam tanah dan mencampur adukannya sampai kedalaman 7,5 cm sehingga memperkecil toksisitas zat kimia tersebut terhadap hewan permukaan tanah.

Lahan yang diberi mesofauna tanah umumnya mengalami peningkatan hara, khususnya nitrogen sebesar 20%-50%. Sampah organik yang dibuang ke dalam tanah akan digunakan oleh hewan tanah sebagai sumber bahan makanan. Jika jumlah sampah organik berlimpah, hewan tanah akan terus beraktivitas membuat biopori dan berkembang biak, mengunyah dan memperkecil ukuran sampah organik, serta mencampurkannya dengan mikroba yang dapat mempercepat proses pelapukan sampah organik menjadi kompos dan senyawa humus yang dapat memperbaiki kondisi tanah. Selain itu, hewan tanah juga dapat

mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dan gas metan yang merupakan gas rumah kaca penyebab pemanasan global, disamping juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, pupuk, serta bahan amelioran lain yang diperlukan dalam upaya perbaikan tingkat kesuburan tanah.

Diversitas makrofauna yang aktif dalam tanah, di musim hujan maupun kemarau, berhubungan erat dengan pH, C-organik, rasio C/N dan kadar air tanah gambut. Keanekaragaman makro hewan meningkat dengan meningkatnya pH tanah. pH tanah menentukan komposisi dan jenis hewan. Diversitas hewan yang aktif dalam tanah juga berhubungan erat dengan C-organik. Semakin meningkatnya kandungan C-organik pada tanah gambut justru menurunkan diversitas makrofauna yang aktif dalam tanah. Ini menunjukkan bahwa semakin matang dekomposisi gambut semakin meningkat diversitas makrohewan yang aktif dalam tanah.

### 3. Sifat Biologi Tanah

Aktivitas hewan tanah khususnya cacing dalam proses dekomposisi bahan organik dapat merangsang aktivitas mikroorganisme. Penghancuran bahan organik menjadi ukuran yang lebih halus serta proses enzimatik dalam pencernaan cacing membuat bahan organik menjadi lebih mudah untuk dicerna mikroorganisme. Hewan tanah mampu mengubah lapisan *top soil*, karena di lapisan tersebut mudah terdapat akar tanaman dan makanan. Akar mati akan dilapukkan dengan cepatoleh fungi, bakteri, serta kelompok organisme lain.

Hewan tanah yang mengkonsumis bahan organik lapuk, membantu mentransformasi bahan tersebut menjadi komponen yang lebih spesifik. Banyak hewan tanah yang menghabiskan siklus hidupnya di tanah. Tanah menjadi sarang, wilayah bertahan, dan makanan bagi hewan tanah. Pergerakan hewan di dalam tanah akan membentuk rongga-rongga yang baik untuk sirkulasi udara dan memperkaya hara tanah karena adanya ekskresi yang dihasilkan. Hewan tanah menata sifat fisik tanah dan juga membantu perombakan organ organisme yang telah mati. Makrofauna tanah sangat besar peranannya dalam proses dekomposisi, aliran karbon, redistribusi unsur hara, siklus unsur hara, bioturbasi dan pembentukan struktur tanah. Biomassa cacing tanah menjadi bioindikator untuk mengetahui perubahan derajat keasaman tanah, status lapisan organik tanah (horizon), kelembaban, dan kondisi

humus dalam tanah. Jenis rayap juga diketahui berperan membrntuk struktur tanah dan terlibat dalam perombakan bahan organik.

## **B. Hewan Tanah Sebagai Bioindikator**

### **1. Konsep dan Prinsip Bioindikator**

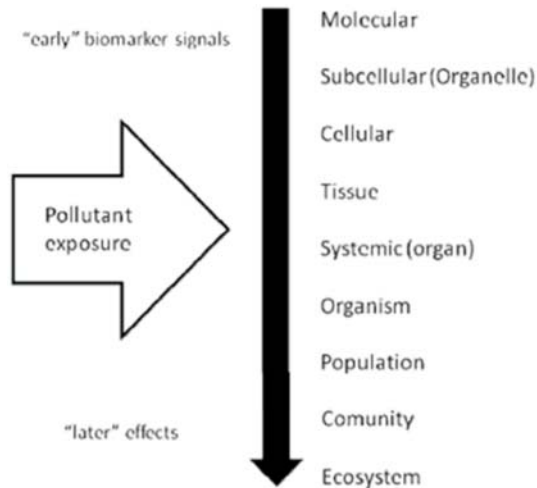
Salah satu cara yang digunakan untuk memantau perubahan yang terjadi di dalam suatu komunitas atau ekosistem adalah pemanfaatan bioindikator. Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaannya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk kualitas lingkungan atau uji kuantitatif (Setyono & Sutarto, 2008; Triadmodjo, 2008). Bioindikator adalah organisme yang menunjukkan sensitivitas atau respons, indikasi, peringatan dini, representasi, refleksi, dan informasi kondisi atau perubahan suatu ekosistem disebut bioindikator (Weissman *et al.*, 2006). Bioindikator merupakan salah satu komponen penting dalam pengelolaan ekosistem. Dasar pemikiran akan adanya suatu organisme indikatif adalah adanya hubungan yang erat antara suatu organisme dengan parameter biotik dan abiotik dari suatu ekosistem (McGeoch *et al.*, 2002). Suatu organisme akan berkembang secara optimal pada kondisi lingkungan ideal. Komponen ekosistem yang tidak ideal berdampak pada perubahan mekanisme kerja organisme (Pribadi, 2009).

Bioindikator juga berarti organisme maupun anggota komunitas yang mampu memberikan informasi terkait kondisi lingkungan secara parsial, bagian kecil, atau keseluruhan. Bioindikator harus mampu memberikan gambaran status lingkungan abiotik dan/atau biotik; mengindikasikan dampak perubahan habitat, perubahan komunitas atau pun ekosistem; atau menggambarkan keragaman kelompok takson, atau keragaman dalam suatu daerah yang diamati. Organisme dapat memonitor perubahan (biokimia, fisiologi, atau kebiasaan) yang mungkin mengindikasikan sebuah masalah di ekosistemnya. Bioindikator dapat menunjukkan kepada kita tentang kumpulan efek dari berbagai pencemar berbeda di ekosistem (Kripa *et al.*, 2013).

Menurut Setiawan (2008) bioindikator dalam aplikasinya dikelompokkan ke dalam tiga kategori yaitu indikator lingkungan, indikator ekologis dan indikator keanekaragaman hayati. Ketiga indikator tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Indikator lingkungan (*enviromental indicator*) yaitu organisme atau kelompok populasi yang peka akan adanya lingkungan rusak, tercemar/mengalami perubahan kondisi (Fadila *et al.*, 2009; Valon *et al.*, 2013; Zhelyazkova, 2012). Indikator lingkungan dibagi menjadi 5: *sentinels*, detektor, eksploiter, akumulator dan *bioassay organisme*.
2. Indikator ekologis (*ecological indicator*) yaitu takson atau kelompok yang peka akan adanya tekanan terhadap lingkungan, mengindikasikan dampak tekanan terhadap makhluk hidup dan respon diwakili oleh sampel takson di habitat itu.
3. Indikator keanekaragaman hayati (*biodiversity indicator*) yaitu kelompok takson atau fungsional mengindikasikan beberapa ukuran keanekaragaman atau kekayaan jenis, kekayaan sifat, dan status endemisitas takson di atasnya pada habitat tertentu. Indikator referensi, kelompok kunci dan kelompok *focal*.

Menurut Kuniyoshi & Braga (2010) organisme dalam habitatnya secara konstan mendapat pengaruh oleh berbagai substansi pencemar. Polutan sangat mungkin berinteraksi dengan kehidupan organisme mendukung sesuatu yang abnormal dan hal itu mungkin dari tingkat molekuler sampai konsekuensi serius pada ekosistem. Hal ini seperti disajikan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1. Representasi Skematik Dampak Polutan Terhadap Sistem Biologi**

(Sumber: Kuniyoshi & Braga, 2010)



Bioindikator dapat meliputi beberapa variasi skala dari aspek makro molekul, sel, organ, organisme, populasi, sampai biocoenosis (ekosistem), sehingga bentuk indikator meliputi: (1) reaksi biokimia dan fisiologis, (2) abnormalitas anatomi, morfologi, bioritme dan tingkah laku, (3) perubahan populasi hewan atau tumbuhan secara kronologis, (4) perubahan pada ekosistem maupun gabungan ekosistem, (5) perubahan pada struktur ataupun fungsi ekosistem, dan (6) perubahan bentuk lahan atau *landscape* (Setiawan, 2008).

Selain itu, menurut Shahabuddin (2003) bahwa beberapa kriteria umum yang dapat digunakan untuk menggunakan suatu jenis organisme sebagai bioindikator adalah:

1. Secara taksonomi telah stabil dan cukup diketahui.
2. Sejarah alamiahnya diketahui.
3. Siap dan mudah disurvei dan dimanipulasi.
4. Taksa yang lebih tinggi terdistribusi secara luas pada berbagai tipe habitat.
5. Taksa yang lebih rendah spesialis dan sensitif terhadap perubahan habitat.
6. Pola keanekaragaman menggambarkan atau terkait dengan taksa lainnya yang berkerabat atau tidak.
7. Memiliki potensi ekonomi yang penting.

Suatu organisme yang dapat memberikan respons, indikasi, peringatan dini atau representasi serta refleksi dan informasi dari kondisi dan atau perubahan yang terjadi pada lingkungan disebut bioindikator (Pratiwi, 2010;Subagiada, 2011). Bioindikator merupakan salah satu komponen penting dalam pengelolaan ekosistem. Dasar pemikiran akan adanya suatu organisme indikatif adalah adanya hubungan erat antara suatu organisme dengan parameter biotik-abiotiksuatu ekosistem (Suheriyanto, 2012). Timbulnya variasi dalam suatu populasi tergantung pada sensitifitasnya terhadap fluktuasi perubahan lingkungan, yakni interaksi antar spesies yang ada. Setiap spesies akan menunjukkan efek yang berbeda dalam menanggapi suatu kompetisi, dan biodiversitas yang meningkat pada suatu komunitas akan sangat mendukung terwujudnya stabilitas komunitas tersebut (Setyono & Sutarto, 2008).

Pada saat ini bioindikator menjadi perlu digunakan untuk memperlihatkan keterkaitan lingkungan biotik dan biotik. Bioindikator

atau indikator ekologis merupakan organisme atau populasi yang peka dan mampu memberi informasi tekanan lingkungan misalnya kegiatan manusia dan destruksi sistem biotik mempengaruhi kehidupan mereka (Zulkifli *et al.*, 2010). Suatu organisme akan berkembang secara optimal pada kondisi lingkungan yang ideal. Komponen ekosistem yang tidak normal berdampak pada perubahan mekanisme kerja pada suatu organisme (Pribadi, 2009). Timbulnya variasi dalam suatu populasi tergantung pada sensitifitasnya terhadap fluktuasi perubahan lingkungan, yakni interaksi antar spesies yang ada. Setiap spesies akan menunjukkan efek yang berbeda dalam menanggapi suatu kompetisi, dan biodiversitas yang meningkat pada suatu komunitas akan, sangat mendukung terwujudnya stabilitas komunitas tersebut (Zulkifli & Setiawan, 2011).

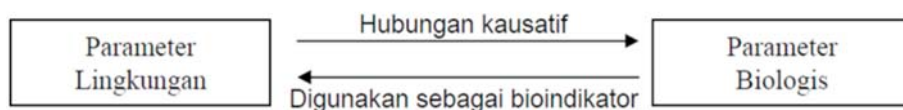
Keseimbangan ekosistem akan terjaga bila komponen pendukung selalu berada pada kondisi yang stabil. Indikator kestabilan itu dapat dilihat dari besarnya keanekaragaman hayati (biodiversitas) yang merupakan unsur biotik dalam suatu ekosistem. Dengan kata lain tingginya biodiversitas mengindikasikan kualitas ekosistem dalam kondisi baik dan sebaliknya rendahnya biodiversitas menunjukkan adanya tekanan atau degradasi kualitas ekosistem (Cappenberg, 2011). Struktur komunitas organisme dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia. Biomonitoring dengan menggunakan collembola sangat efektif apabila dilakukan secara sinergis.

Tipe indikator secara umum dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu:

1. Indikator (kehadiran dan absensinya menyimpulkan tentang permasalahan lingkungan, secara kuantitatif jarang).
2. Spesies uji (tanggapannya mengindikasikan tentang permasalahan yang luas, spesies uji umumnya memiliki standarisasi yang tinggi),
3. Monitor (menyediakan bukti akan adanya perubahan, kesimpulan kuantitatif biasanya mungkin melalui kalibrasi). Monitor terdiri dari monitor aktif yang tersedia dengan cepat di alam) dan monitor pasif (organisme monitor yang di introduksi). Monitor pasif terdiri dari reaktor (tanggapannya adalah perubahan fungsi atau reaksi) dan akumulator responnya di amati dari akumulasi polutan (Setiawan, 2008).

Pengembangan sistem bioindikator dapat dilihat sebagai hubungan timbale balik antara faktor lingkungan dengan parameter biologis.

Karakteristik parameter biologis tersebut di antara adalah komposisi jenis, gejala kerusakan suatu organisme, tubuh yang terkontaminasi polutan, induksi dan penghambatan enzim. Efektif tidaknya suatu bioindikator yang digunakan ditentukan oleh keterkaitan antara faktor lingkungan dan parameter biologis. Interaksi antara kedua parameter ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2. Skema Hubungan antara Faktor Lingkungan dengan Parameter Biologi**

(Sumber: Setiawan, 2008)

Faktor lingkungan berpengaruh terhadap parameter biologis dalam bentuk hubungan sebab akibat (kausatif). Bila parameter biologis menjadi indikator maka harus dipandang kebalikan dari hubungan kausatif. Syarat untuk menetapkan atau memilih organisme sebagai bioindikator, yaitu: (1) Takson yang tinggi atau lebih tinggi, harus memilih takson dengan taksonomi jelas, diketahui secara terperinci, dan mudah untuk diidentifikasi; (2) Status biologi diketahui jelas, peka terhadap tekanan maupun perubahan lingkungan; (3) Organisme memiliki kelimpahan tinggi dan mudah disurvei/diamati; (4) Tersebar dalam ruang dan waktu; dan (5) Memiliki hubungan yang kuat dengan komunitas luas atau tidak memiliki hubungan kuat dengan komponen tekanan (Hordkinson & Jackson, 2005).

## **2. Implementasi Hewan Tanah sebagai Bioindikator**

Ada banyak syarat dalam penggunaan hewan sebagai bioindikator yang tepat. Berbagai informasi tentang kelimpahan, keanekaragaman, struktur, dan stabilitas suatu komunitas harus dipertimbangkan (Sarifuddin, 2004). Hewan tanah dapat digunakan sebagai bioindikator karena kepekaanya terhadap pola penggunaan tanah dan perubahan iklim, berhubungan dengan sifat tanah yang baik ataupun merugikan, dan memiliki peran ekologis misalnya dalam membantu penyimpanan air, perombakan bahan organik dan perputaran hara, menetralkan racun, dan menekan hewan patogen atau berbahaya. Hewan tanah dapat mengindikasikan adanya hubungan sebab akibat keputusan penggunaan suatu tanah atau lahan

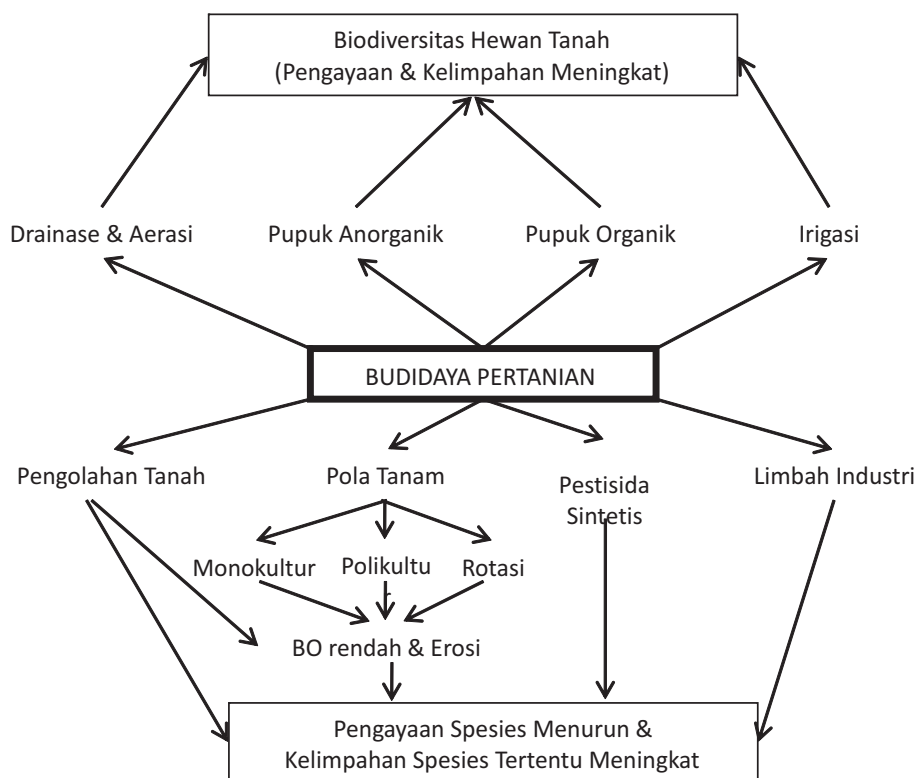
terhadap produktivitas tanah dan kesehatan tumbuhan dan hewan secara keseluruhan (Doran & Zeiss, 2000).

Doran & Zeiss (2000) menjelaskan lima syarat penggunaan bioindikator dalam menilai kondisi tanah, sebagai berikut.

- a. Kepekaan pada variasi pengelolaan tanah.  
Syarat ini dipenuhi hewan tanah karena mereka mampu merespon gangguan antropogenik.
- b. Berhubungan baik dengan fungsi tanah yang menguntungkan.  
Kelimpahan dan keanekaragaman hewa tanah berhubungan baik dengan fungsi tanah. Namun demikian tetap diperlukan kejelian dalam memilih hewan tanah atau indikator mana yang dipakai ukuran fungsi tanah.
- c. Mampu mengurai proses dalam ekosistem.  
Parameter yang dipakai harus mampu memberikan indikasi-indikasi mengapa suatu tanah berfungsi atau tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Hewan tanah terlibat langsung dalam berbagai proses ekosistem, bahkan dalam mengubah bentuk hara menjadi yang siap digunakan oleh tumbuhan.
- d. Mudah dipahami dan bermanfaat dalam pengelolaan tanah.  
Pengukuran kelimpahan dan keanekaragaman Nematoda, *mites* dan mikroba akan memberikan beragam informasi adanya perubahan fungsi tanah, dalam tingkatan aplikasi dapat digunakan untuk pelatihan pengelolaan tanah.
- e. Pengukuran mudah dan murah  
Kegiatan kuantifikasi hewan tanah umumnya relatif murah dan peralatan yang digunakan relative sederhana atau tersedia dengan mudah.

Hewan tanah sangat sensitif terhadap gangguan oleh adanya aktivitas manusia. Praktek pengolahan tanah secara intensif memberikan kontribusi pada berubahnya beberapa proses dalam tanah sehingga menyebabkan degradasi tanah. Praktek yang dimaksud misalnya dalam bidang pertanian antara lain penggarapan tanah yang berlebihan, penanaman yang terus menerus, sistem penanaman satu jenis (monokultur), penyiangan, pengapuran, pengairan (*drainase*), pemindaahan sisa-sisa tanaman, pemindahan vegetasi, penggunaan pupuk dan pestisida sintetis yang

berlebihan (Noordwijk & Hairiah, 2006; Yulipriyanto, 2010). Kondisi dapat diskemakan seperti pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3. Skema Pengaruh Intesifikasi Pertanian Terhadap Biodiversitas Tanah**

(Sumber: modifikasi dari Wallwork oleh Noordwijk & Hairiah, 2006)

Kegiatan pertanian akan mempengaruhi kelimpahan dan aktivitas hewan tanah, tetapi tidak semua hewan tanah menunjukkan respon yang sama. Beberapa contoh fungsi utama dan grup hewan tanah yang berperan dalam ekosistem tanah dan kegiatan pertanian yang mempengaruhinya disajikan pada Tabel 4.2.

Jumlah spesies hewan dalam tanah sangat banyak, sehingga hampir setiap phylum hewan tanah dapat terwakili dalam setiap tanah pada luasan yang kecilpun. Sebagian besar hewan tanah yang ditemukan tidak kasat mata, yang harus diekstrak terlebih dahulu dari tanah sebelum mereka dapat diamati dengan mikroskop. Banyak cara untuk

mengklasifikasikan hewan tanah, bisa berdasarkan taksonomi, karakteristiknya (makanan, bentuk dan ukuran tubuhnya), habitat dan fungsinya. Untuk tujuan mempelajari biodiversitas hewan tanah, para ahli ekologi membagi menurut (a) taksonomi hanya pada grup tertentu, (b) fungsinya dalam ekosistem tanah, (c) makanan dan distribusinya dalam profil tanah, atau (c) kombinasi ke tiganya (Noordwijk & Hairiah, 2006). Kajian atau pembahasan lebih lengkap mengenai hal ini dapat dipelajari pada bagian-bagian (bab) lain dari buku ini.

**Tabel 4.2 Fungsi Utama dan Grup Hewan Tanah yang Berperan**

No	Fungsi Biologi	Grup Biota Fungsional	Kegiatan Pertanian yang Mempengaruhi
1	Dekomposisi bahan organik	Mikroorganisme di permukaan tanah	Pembakaran, pengolahan tanah, dan penyemprotan pestisida
2	Siklus hara (A) Mineralisasi dan immobilisasi hara	Mikrofauna tanah	Pengolahan tanah, pemupukan, pembakaran, dan penyemprotan pestisida
	(B) Penambatan N-bebas dari udara	Mikroorganisme penambat N dari udara (bebas atau bersimbiosis)	Pengurangan diversitas tanaman yang ditanam (cenderung ke sistem tanaman monokultur), dan pemupukan
	(C) Redistribusi bahan organik dan hara	Akar, mycorrhiza, makrofauna tanah	Pengurangan diversitas tanaman yang ditanam, pemupukan dan pengolahan tanah
3	Bioturbasi	Akar, makrofauna tanah	Pengolahan tanah, pengairan, dan penyemprotan pestisida
4	Agregasi tanah	Akar, hypha cendawan, makrofauna tanah dan mesofauna tanah	Pembakaran, pengurangan diversitas tanaman yang ditanam, dan pengolahan tanah
5	Pengendali Populasi organisme	Predator, parasit, pathogen	Pemupukan, penyemprotan pestisida, pengurangan diversitas tanaman yang ditanam, dan pengolahan tanah
6	Penyerapan C di Udara	Biomassa mikrobia (terutama cendawan)	Pembakaran, pengolahan tanah, dan masa bera (jeda tanam) yang singkat

(Sumber: Adaptasi Giller *et al* oleh oleh Noordwijk & Hairiah, 2006)

Lebih lanjut menurut Noordwijk & Hairiah (2006) dalam kaitannya dengan kegiatan pertanian yang sehat (kualitas tanah), Swift & Bignell (2000) menyarankan pada kegiatan penelitian biodiversitas tingkat global *Alternatives to Slash and Burn (ASB)* dan *Conservation and Sustainable Management of Belowground Biodiversity (CSM-BGBD)*, bahwa pengukuran biodiversitas biota tanah difokuskan pada diversitas biota fungsional yang berperan penting dalam produktivitas tanah saja.

Kualitas tanah menunjukkan faktor fisika, kimia, dan biologi tanah yang berperan mengkondisikan kehidupan tanaman, proses biologis, mendukung aliran air dan sebagai filter lingkungan terhadap polutan (Doran & Parkin, 1994). Kualitas tanah adalah ukuran kondisi tanah dibandingkan dengan kebutuhan satu atau beberapa spesies atau dengan beberapa kebutuhan hidup manusia (Johnson *et al.*, 1997). Kualitas tanah diukur berdasarkan pengamatan kondisi dinamis indikator-indikator kualitas tanah. Pengukuran indikator kualitas tanah menghasilkan indeks kualitas tanah. Indeks kualitas tanah merupakan indeks yang dihitung berdasarkan nilai dan bobot tiap indikator kualitas tanah. Indikator-indikator kualitas tanah dipilih dari sifat-sifat yang menunjukkan kapasitas fungsi tanah (Partoyo, 2005). Menurut Doran & Parkin (1994), indikator-indikator kualitas tanah harus (a) menunjukkan proses-proses yang terjadi dalam ekosistem, (b) memadukan sifat fisika tanah, kimia tanah dan proses biologi tanah, (c) dapat diterima oleh banyak pengguna dan dapat diterapkan di berbagai kondisi lahan, (d) peka terhadap berbagai keragaman pengelolaan tanah dan perubahan iklim, dan (e) apabila mungkin, sifat tersebut merupakan komponen yang biasa diamati pada data dasar tanah.

Pengelolaan tanah dapat mempengaruhi populasi hewan tanah dengan cara mempengaruhi persediaan makanan, air tanah dan temperatur, serta lingkungan kimia. Pada tanah yang tidak diolah, sisa-sisa tanaman pada permukaan tanah (seresah) sebagai persediaan makanan hewan tanah dan juga dapat digunakan untuk menahan kekeringan dan juga memberi kesempatan cacing untuk beradaptasi dengan perubahan musim. Bioindikator kualitas tanah dipakai untuk mengetahui perubahan dalam sistem tanah sebagai akibat sistem pengelolaan tanah yang berbeda-beda. Kondisi makrofauna tanah bisa berbeda-beda bila pengelolaan tanahnya juga berbeda-beda. Kondisi budidaya tanaman monokultur dengan pengolahan tanah dan

pemupukan yang intensif akan menyebabkan terjadinya penurunan biodiversitas hewan tanah (Pankhurst, 1994). Hewan yang berperan bioindikator harus peka dengan adanya perubahan kondisi, memiliki tanggapan khusus dan pada kondisi normal memiliki kelimpahan tinggi (Primack, 1998). Hewan tanah selalu berinteraksi dengan berbagai faktor pendukung habitatnya. Keragaman hewan tanah serta fungsi ekosistem menunjukkan hubungan yang sangat kompleks, namun belum banyak diketahui dengan pasti karena penelitian terkait masih terbatas. Hewan tanah memiliki respon yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Lisnawati *et al.*, 2014).

Dampak pengelolaant tanah terhadap ukuran, perilaku, dan struktur komunitas hewan dapat dikaitkan dengan faktor-faktor berikut: 1) Menyediakan pakan (populasi mikroba lebih banyak pada daerah beresidu); 2) Adanya dinamika dekomposer (mikrofauna merupakan pemangsa nematoda, sedangkan nematoda adalah pemangsa protozoa); 3) Dinamika faktor fisik tanah (perubahan agregat tanah rendah dan membaiknya kelembaban akibat tersedianya residu tumbuhan); 4) Dinamika penyebaran sisa bahan organik di lapisan bawah (penyebaran bahan organik tanah yang dikelola dengan baik dibanding yang minimum dimana sisa bahan organik hanya terkumpul di bagian permukaan (Gupta & Yeates, 1997).

### Collembola

Contoh yang dapat diberikan adalah Collembola, termasuk kelompok mesofauna. Mesofauna merupakan salah satu kelompok hewan yang dapat digunakan sebagai bioindikator karena hidup di permukaan dan di dalam tanah dan mempunyai posisi strategis di lingkungan. Mesofauna berfungsi sebagai subsistem konsumen dan subsistem dekomposisi. Kelompok ini juga merupakan kelompok terbesar dari kelompok fauna tanah lainnya (Trimurti, 2010). Collembola dapat digunakan sebagai bioindikator dibandingkan mikroorganisme karena peka dengan adanya dinamika ekosistem dan memiliki waktu pergiliran keturunan relatif lebih lama tidak fluktuatif karena dinamika hara mendadak/tiba-tiba (Darwati, 2007; Pribadi, 2009).

Semakin tinggi densitas Collembola, maka semakin tinggi pula tingkat kesuburan tanahnya. Setiap spesies *Collembola* juga memperlihatkan tingkatan toleransi yang berbeda terhadap lingkungan,



sehingga Collembola merupakan hewan yang bagus digunakan sebagai indikator mikrohabitat. Avelina (2008) dan Suhardjono (2012) mendukung pandangan tersebut bahwa Collembola adalah bioindikator yang baik karena peka terhadap dinamika ekosistem dan memiliki kemelimpahan yang tinggi. Collembola menata sifat-sifat tanah, baik secara biologi, fisika, maupun kimia sehingga mendukung peningkatan kesuburan.

Faktor lingkungan suatu habitat menjadi penentu keberadaan Collembola. Kombinasi faktor lingkungan berpengaruh berbeda terhadap jenis maupun populasi Collembola. Faktor lingkungan ada yang bersifat menguntungkan dan ada pula yang merugikan bagi Collembola. Tipe habitat tersusun atas kombinasi faktor lingkungan, berbeda antara satu dengan lainnya (Suhardjono *et al.*, 2012). Dapat dikatakan bahwa dinamika pada tanah ataupun ekosistem secara luas akan berpengaruh terhadap struktur dan fungsi Collembola.

Penelitian yang dilakukan Husamah *et al* (2015) menunjukkan bahwa 1) kadar air tanah, derajat keasaman (pH), dan kandungan C-organik tanah tidak mempengaruhi jumlah jenis Collembola di tiga tipe habitat (hutan, pertanian, dan pemukiman) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas Hulu. Hal ini berarti jumlah jenis ditentukan berbagai faktor lingkungan secara bersama-sama dalam kurun waktu tertentu. Dampak faktor lingkungan secara parsial dalam jangka pendek tidak akan tampak pada jumlah jenis Collembola tanah. 2) Ada pengaruh kadar air tanah dan kandungan C-organik tanah pada jumlah individu Collembola. Kandungan C-organik berperan paling dominan (nyata) pada jumlah individu Collembola. Kadar air tanah juga memiliki dampak bagi jumlah individu Collembola pada habitat pertanian.

Sehubungan dengan itu, terkait implementasi struktur komunitas Collembola sebagai bioindikator, hasil penelitian Husamah (2015) menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis pada agroekosistem apel semiorganik dan nonorganik adalah sama dan termasuk kategori rendah. Kemerataan Collembola pada tipe agroekosistem apel semi organik dan nonorganik adalah sama dan termasuk memiliki kemerataan tinggi. Berdasarkan itu maka kualitas tanah di kedua agroekosistem apel relatif sama yaitu berkualitas rendah (kurang sehat) dan cenderung menghambat kehidupan Collembola.

### Cacing Tanah

Contoh yang lain adalah cacing tanah, yang dapat dijadikan bioindikator produktivitas dan kesinambungan fungsi tanah. Oleh karena itu, penelitian mengenai eksistensi cacing tanah di suatu lahan dapat digunakan sebagai informasi awal dalam rangka meningkatkan kesuburan tanah di lahan berkapur. Biomassa cacing tanah menjadi bioindikator untuk mengetahui adanya dinamika pH, kondisi lapisan organik tanah, kadar air tanah serta kondisi humus. Cacing tanah merupakan salah satu hewan yang memiliki peran penting dalam upaya memperbaiki kesuburan, dengan menghancurkan secara fisik pemecahan bahan organik menjadi humus, mencampur bahan organik, dan memantapkan agregat tanah (Barnes. 1997).

Cacing tanah adalah hewan yang memanfaatkan tanah menjadi habitat atau lingkungan yang mendukung aktifitas biologinya. Berbagai proses perombakan yang dilakukan oleh cacing tanah yang berperan untuk dalam meningkatkan kesuburan tanah tersebut menunjukkan bahwa keberadaan dan aktivitas hewan tanah sangatlah menunjang dan penting dalam kesuburan tanah.

### Nematoda

Nematoda banyak dimanfaatkan sebagai bioindikator. Nematoda bebas maupun parasit menjadi indikator karena memberikan gambaran taksonomi dan pakannya melimpah. Nematoda memiliki peran penting dalam *food webs*. Nematoda memiliki sifat, yaitu 1) Respon terhadap pencemar memberikan gambaran perbaikan ekosistem karena mempunyai lapisan kulit permeable; 2) Sifat tahan, misalnya Cryptobiosis akan inaktif bila lingkungan tidak mendukung, sementara Dorylamidae bersifat rentan sehingga mudah terpengaruh perubahan ekosistem. Nematoda mempunyai protein kejut panas (*heat shock protein*) dan dapat dihemat. Protein tersebut akan meningkat bila ada tekanan panas, logam atau racun; 3). Ada Nematoda yang bersifat parasit bagi tumbuhan, memutus sirkulasi air dan hara, sehingga merusak tumbuhan dan mengganggu produktivitas. Kebanyakan Nematoda bersifat menguntungkan dalam ekosistem karena mempercepat laju perombakan bahan organik dan pembentukan mineral dalam tanah. Nematoda biasanya menjadi hewan tanah yang terakhir mati pada tanah tercemar, karena tahan terhadap kekeringan dan pulih seiring peningkatan kelembaban. 4) Nematoda

mudah pelajari secara terpisah, berdasarkan bentuk morfologi dan jenis makanan. Kelimpahan relatif dan ukuran yang khas memudahkan pengambilan sampel dan proses ekstraksi, serta relatif lebih murah dibanding hewan lain (Neher, 2001).

Berdasarkan jenis makanan atau mangsa Nematoda terdiri atas tujuh kelompok, yaitu pemangsa algae atau lumut (*moss feeder*), pemangsa jamur (*fungus feeder*), pemangsa bakteri (*bacterial feeder*), predator, parasit pada serangga, omnivora dan parasit pada tumbuhan. Tanah yang “dikuasai” oleh Nematoda pemangsa jamur biasanya adalah tanah berkualitas (sehat) karena suplai mineral tanah terjaga dan tersedia baik untuk menopang kehidupan Nematoda sendiri maupun bagi jamur. Namun demikian, apabila tanah “dikuasai” oleh Nematoda bersifat parasit terhadap tumbuhan, maka dapat dikatakan tanah tersebut tidak berkualitas atau tidak sehat (Celentis Analytical, 2003; Sarifuddin, 2004).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 5**

# **STRUKTUR KOMUNITAS HEWAN TANAH**

### **A. Konsep Struktur Komunitas**

**K**elompok-kelompok organisme yang hidup di tanah membentuk suatu sistem terintegrasi yang dapat disebut juga sebagai komunitas tanah (Suin, 2012). Komunitas adalah sekumpulan populasi yang saling berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung (Smith & Smith, 2006). Komunitas adalah kelompok organisme yang terdiri atas sejumlah jenis yang berbeda, yang secara bersama-sama menempati habitat atau area yang sama dan waktu secara bersamaan serta terjadi interaksi melalui hubungan trofik dan spasial (Dharmawan *et al*, 2005; Purnomo, 2005).

Menurut Odum (1998) konsep komunitas biotik, yaitu sekumpulan populasi-populasi apa saja yang hidup di suatu daerah. Komunitas tidak hanya mempunyai kesatuan fungsional tertentu dengan struktur trofik dan pola arus energi yang khas, tetapi juga mempunyai kesatuan komposisional di mana terdapat peluang jenis tertentu tetap ada atau hidup berdampingan.

Suatu komunitas dapat dikenali dari keberadaan satu spesies atau lebih yang mendominasi secara biomassa atau menyumbang ciri fisik suatu spesies. Komunitas terdiri atas sekumpulan spesies yang kelimpahannya berkorelasi secara positif atau negatif dengan waktu atau tempat (Leksono, 2007). Berdasarkan beberapa pendapat tersebut dapat dijelaskan bahwa komunitas berarti kesatuan dinamik dari hubungan fungsional saling mempengaruhi di antara populasi, di mana anggotanya berperan pada posisinya masing-masing, menyebar dalam ruang dan tipe habitatnya.

Ada tiga gagasan utama yang terlibat dalam pengertian komunitas, yaitu 1) Sifat minimum komunitas adalah hadirnya beberapa jenis dalam suatu daerah, 2) Komunitas merupakan kumpulan kelompok jenis yang sama, terjadi berulang dalam ruang dan waktu, 3) Komunitas memiliki

kecenderungan menuju ke arah stabilitas dinamik dan keseimbangan ini dapat dipulihkan jika komunitas terganggu (Wijayanti, 2011). Konsep komunitas menjadi sangat penting dalam mempelajari ekologi, karena pada tingkat komunitas inilah dikaji keberadaan beranekaragam jenis organisme yang hidup bersama dengan cara yang beraturan, tidak tersebar begitu saja tanpa ada saling ketergantungan (interaksi). Menurut Darmawan *et al* (2005) kajian komunitas berusaha mengetahui keseimbangan yang tergambarkan dalam struktur dan komposisi populasi penyusunnya. Kajian komunitas berusaha juga berusaha mengetahui pola sebaran dan perubahan sebagai hasil interaksi semua komponen yang bekerja dalam komunitas tersebut.

Komunitas dengan segala komponen penyusunnya adalah sebuah organisasi kehidupan dan masing-masing memiliki dinamika sendiri-sendiri, disebut struktur komunitas (Satino, 2011). Struktur komunitas merupakan suatu konsep yang mempelajari susunan atau komposisi jenis dan kelimpahannya dalam suatu komunitas. Secara umum ada tiga pendekatan yang dapat digunakan untuk menggambarkan struktur komunitas yaitu keanekaragaman jenis, interaksi jenis dan organisasi fungsional (Schowalter, 1996). Masing-masing pendekatan memberikan informasi sangat berguna dan pemilihan pendekatan yang akan digunakan tergantung pada tujuan dan pertimbangan praktisnya (Yaherwandi, 2010).

Struktur dalam komunitas sering berubah, karena sebagian besar dapat diganti dalam waktu dan ruang sehingga fungsional komunitas yang serupa dapat memiliki komposisi jenis yang berbeda. Komposisi komunitas adalah daftar jenis dan jumlah individu yang menyusun suatu komunitas di suatu tempat. Struktur komunitas memiliki karakteristik yang tidak dimiliki oleh setiap jenis sebagai komponen penyusunnya.

## **B. Parameter Struktur Komunitas**

Ada lima karakteristik komunitas yang umumnya diukur dan dikaji yaitu bentuk dan struktur pertumbuhan, dominansi, kelimpahan relatif, struktur trofik dan keanekaragaman atau diversitas jenis (Wijayanti, 2011). Leksono (2007) membatasi bahwa parameter komunitas bersifat kuantitatif seperti kekayaan jenis, keanekaragaman dan kelimpahan relatif. Pengamatan struktur komunitas perlu dilakukan sebelum mempelajari berbagai hubungan komunitas dengan lingkungan. Hal-

hal yang dapat dipahami ketika mengkaji struktur komunitas, yaitu 1) jenis makhluk hidup yang menyusun, 2) densitas (kepadatan), misalnya berapa jumlah tumbuhan jenis "A" per meter persegi, dan 3) keanekaragaman jenis (Satino, 2011).

Langkah pertama untuk mengetahui distribusi hewan tanah di suatu lokasi adalah mengambil contohnya. Contoh yang terkumpul dihitung dan diidentifikasi. Keadaan hewan tanah di lokasi dapat dilaporkan berupa komposisi dengan membuat daftar. Daftar saja tidak cukup banyak memberikan gambaran keadaan struktur komunitas hewan tanah yang ada di lokasi tersebut, untuk dapat lebih banyak memberikan gambaran maka dapat disajikan dalam bentuk kepadatan populasi dan kepadatan relatif atau dapat pula menghitung indeks asosiasi antar jenis. Perbandingan struktur suatu komunitas dengan komunitas lainnya dapat dilakukan dengan membandingkan indeks diversitas dan ekuitabilitas (Suin, 2012). Berikut diuraikan secara lebih rinci parameter struktur komunitas.

### 1. Keanekaragaman Jenis (Spesies)

Keanekaragaman atau diversitas adalah suatu keragaman atau perbedaan di antara anggota-anggota suatu kelompok, yang umumnya mengarah pada keanekaragaman jenis (McNaughton & Wolf, 1998). Keanekaragaman jenis merupakan ciri tingkatan komunitas berdasarkan organisasi biologinya. Keanekaragaman jenis juga dapat digunakan untuk mengukur stabilitas komunitas, yaitu kemampuan suatu komunitas untuk menjaga dirinya tetap stabil meskipun ada gangguan terhadap komponen-komponennya (Ardhana, 2012).

Keanekaragaman jenis bisa dipakai dalam menetapkan struktur komunitas. Jumlah jenis yang tinggi dengan jumlah individu relatif sama memberikan informasi tingginya heterogenitas. Namun bila jumlah jenis sedikit dan ada beda yang besar terkait jumlah individu antar jenis menggambarkan heterogenitas yang rendah. Rendahnya keanekaragaman menggambarkan adanya dominasi jenis (Leksono, 2011). Tingginya keanekaragaman jenis yang tinggi mencerminkan komunitas sangat kompleks sebab interaksi jenis terjadi sangat tinggi.

Keanekaragaman jenis bersifat unik dalam tingkat organisasi biologi. Komunitas disebut memiliki keanekaragaman jenis tinggi manakala tersusun atau banyak spesies dengan jumlah individu relatif merata.

Keanekaragaman itu merupakan keanekaragaman jenis bukan tidak dimaksudkan menemukan kedudukan jenis pada tingkatan takson, tetapi pada dasar trofik atau level fungsional makhluk hidup (Satino, 2011).

Ada beberapa indeks keanekaragaman yang digunakan untuk memperkirakan keanekaragaman jenis. Indeks keanekaragaman yang umum digunakan adalah Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener. Tujuan utama teori ini adalah untuk mengukur tingkat keteraturan dan ketidakteraturan dalam suatu sistem (Fachrul, 2012; Suin, 2012), yang didasarkan pada ketidakpastian (Leksono, 2011). Jika data kelimpahan dilakukan secara acak dari suatu komunitas atau subkomunitas maka perhitungan yang tepat keanekaragaman adalah dengan menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (Soegianto, 1994).

Kelebihan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener adalah indeks ini bisa diterima luas dan digunakan untuk menganalisis keanekaragaman jenis di berbagai penelitian (Leksono, 2011). Banyak orang menyebut indeks Shannon-Wiener ter baik dalam menentukan perbandingan dan tidak untuk memilah komponen keanekaragaman (Deshmuksh, 1992; Satino, 2011). Ekosistem dengan keanekaragaman jenis tinggi biasanya terdiri atas ragam populasi yang tersusun atas individu dengan jumlah relatif kecil. Ekosistem dengan keanekaragaman jenis rendah biasanya ditempati jenis terbatas tetapi individu cenderung melimpah.

Menurut Fachrul (2012) dan Rahayu & Basukriadi (2012) rumus indeks Shannon-Wiener adalah:

$$H' = \sum_{i=1}^s (pi \log_2 pi) \text{ atau } H' = \sum_{i=1}^s (pi \ln pi)$$

Keterangan:

$H'$  = indeks keanekaragaman Shannon-Wiener,

$s$  = jumlah spesies dalam komunitas,

$pi$  = proporsi spesies ke- $i$  terhadap jumlah total atau  $ni/N$ ,

$ni$  = jumlah individu suatu spesies dalam komunitas, dan

$N$  = jumlah individu keseluruhan spesies dalam komunitas

Indeks keragaman Shannon-Wiener dibagi dalam 5 kategori yaitu: <1 sangat rendah, 1-<2 rendah, 2-<3 sedang, 3-<4 tinggi dan >4 sangat tinggi (Odum, 1998; Maharadatunkamsi, 2011). Menurut Winarni (2005) nilai indeks Shannon-Wiener biasanya hanya berkisar antara 1,5 - 3,5



dan jarang sekali mencapai 4,5. Makin besar  $H'$  suatu komunitas maka semakin mantap pula komunitas tersebut atau semakin tinggi kelimpahan relatifnya. Ludwig & Reynolds (1988) menyatakan bahwa nilai  $H' = 0$  dapat terjadi apabila hanya satu jenis dalam satu contoh (sampel) dan  $H'$  maksimal bila semua jenis mempunyai jumlah individu yang sama dan ini menunjukkan kelimpahan terdistribusi secara sempurna.

Sehubungan dengan kajian kesuburan tanah, menurut Erniyani *et al* (2010) dan Santosa (2007) semakin tinggi indeks keragaman semakin tinggi maka dinamika biologis dan tingkat dekomposisi atau proses daur hara tanah semakin baik sehingga kesuburan tanah semakin baik. Apabila nilai indeks dominasi mendekati 1, terjadi ketidak seimbangan populasi dari jenis-jenis fauna yang ada dalam tanah, jenis fauna tanah tertentu mendominasi fauna tanah lainnya. Pengelolaan tanah dan tanaman secara ekologis kurang menguntungkan bagi keberlanjutan tanah/agro ekosistem. Apabila nilai dominasi mendekati 0,5 menunjukkan bahwa populasi dari masing-masing jenis fauna dalam keadaan seimbang. Pengelolaan tanah dan tanaman secara ekologis mendukung bagi keberlanjutan usaha tani. Menurut Suwondo (2002) bila indeks keragaman hewan tanah besar ( $> 3$ ) berarti tingkat dekomposisi yang terjadi tinggi sebaliknya tingkat dekomposisi akan rendah jika indeks keragaman hewan tanah rendah ( $< 1$ ). Indeks keragaman tinggi berarti tingkat kesuburan tanah tinggi.

## 2. Kemerataan (*Evenness/Equitability*)

Kemerataan didefinisikan sebagai tingkat sebaran individu antara jenis-jenis (Leksono, 2011). Meskipun Shannon-Wiener telah menyertakan *evenness* dalam perhitungannya, namun *evenness* dapat dihitung secara terpisah menggunakan nilai  $H'_{\max}$  (*maximum diversity*). Adapun rumus *evenness* atau *equitability* menurut Fachrul (2012), Ramlan (2011), dan Winkler & Toth (2012), adalah sebagai berikut.

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

$S$  = jumlah total jenis,

$H'$  = nilai indeks Shannon-Wiener, dan

$H'_{\max}$  = keanekaragaman maksimal

Nilai  $H'$  max menunjukkan suatu informasi lain tentang keanekaragaman jenis pada kondisi *equitability* maksimum. Pada umumnya keanekaragaman jenis di suatu habitat tidak pernah mencapai maksimum karena *equitability* semua spesies jarang bisa sama (Leksono, 2011).  $H'$  max akan terjadi apabila ditemukan dalam suasana di mana semua jenis adalah melimpah. Adapun nilai  $E$  kisaran antara adalah 0 dan 1 yang mana nilai 1 menggambarkan suatu keadaan di mana semua jenis cukup melimpah (Fachrul, 2012). Krebs (1989) mengklasifikasikan indeks ini menjadi  $E < 1$  berarti pemerataan tinggi;  $0,4 < E < 0,6$  berarti pemerataan sedang, dan  $E < 0,4$  berarti pemerataan rendah.

Menurut Suheriyanto (2008) pada dua komunitas yang masing-masing mempunyai 10 jenis dengan jumlah individu 100, akan mempunyai pemerataan yang berbeda, tergantung pada pembagian dari 100 individu tadi di antara 10 jenis. Misalnya, 91-1-1-1-1-1-1-1-1-1 pada satu komunitas yang ekstrim (pemerataan minimum) dan 10 individu per jenis pada komunitas yang lain (pemerataan sempurna).

Sehubungan dengan kajian kesuburan tanah, menurut Santosa (2007) apabila nilai indeks dominasi mendekati 1, terjadi ketidakseimbangan populasi dari jenis-jenis fauna yang ada dalam tanah, jenis fauna tanah tertentu mendominasi fauna tanah lainnya. Pengelolaan tanah dan tanaman secara ekologis kurang menguntungkan bagi keberlanjutan usaha tani. Nilai dominasi mendekati 0,5 menunjukkan bahwa populasi dari masing-masing jenis fauna dalam keadaan seimbang. Pengelolaan tanah dan tanaman secara ekologis mendukung bagi keberlanjutan usaha tani.

### 3. Kelimpahan Relatif (Relative Abundance)

Diversitas jenis ditentukan tidak hanya oleh jumlah jenis di dalam komunitas biologi, misalnya kekayaan jenis (*species richness*), tetapi juga oleh kelimpahan relatif individu (*relative abundance*) dalam komunitas. Kelimpahan jenis merupakan jumlah individu per jenis dan kelimpahan relatif mengacu pada pemerataan distribusi individu di antara jenis dalam suatu komunitas. Dua komunitas mungkin sama-sama kaya dalam jenis, tetapi berbeda dalam kelimpahan relatif. Contohnya adalah dua komunitas mungkin masing-masing mengandung 10 spesies dan 500 individu, tetapi pada komunitas yang pertama semua jenis sama-sama umum (misalnya 50 individual untuk setiap jenis), sementara pada

komunias kedua satu jenis secara signifikan jumlahnya lebih banyak daripada empat jenis lain. Komunitas pertama dikatakan memiliki kelimpahan relatif lebih tinggi daripada yang kedua (Hermawan & Subeno, 2005).

Data kelimpahan diperoleh berdasarkan perhitungan jumlah individu pada masing-masing titik plot pengambilan sampel di setiap lokasi penelitian (Fachrul, 2012). Kelimpahan relatif dihitung dengan membandingkan kelimpahan individu satu jenis terhadap jumlah kelimpahan total individu tersebut dalam komunitas (Leksono, 2007). Sarjan *et al* (2010) dan Suwarno *et al* (2013) dalam penelitiannya menggunakan perhitungan kelimpahan relatif jenis dengan menghitung jumlah individu satu jenis terperangkap dibagi dengan jumlah total individu seluruh spesies atau dapat ditulis dengan rumus:

$$\text{Kelimpahan Relatif (KR)} = \frac{\sum \text{individu satu jenis } i}{\sum \text{total individu seluruh jenis}} \times 100\%$$

Suin (2012) cenderung menyamakan kepadatan dengan kemelimpahan hewan tanah. Pendapat ini juga sama dengan Dewi (2010). Kepadatan populasi suatu jenis atau kelompok hewan tanah dapat dinyatakan dalam bentuk jumlah atau biomassa per unit contoh atau per satuan luas, atau per satuan volume, atau persatuan penangkapan. Kepadatan relatif dihitung dengan membandingkan kepadatan suatu jenis dengan kepadatan semua jenis yang terdapat dalam unit contoh tersebut. Kepadatan relatif itu dinyatakan dalam bentuk persentase. Kepadatan dan kepadatan relatif dapat ditulis sebagai rumus berikut.

$$K \text{ jenis A} = \frac{\text{jumlah individu jenis A}}{\text{jumlah unit contoh / luas / volume}}$$

$$KR \text{ jenis A} = \frac{K \text{ jenis A}}{\text{jumlah K semua jenis}} \times 100\%$$

Menurut Soegianto (1994) dan Lesmana *et al* (2010) menghitung kelimpahan/kepadatan dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Di = \frac{ni}{A}$$

Keterangan: Di = Kepadatan untuk spesies I (ind/m<sup>2</sup>), ni = Jumlah total individu untuk spesies I (ind), A = Total luas habitat yang disampling (m<sup>2</sup>).

Sehubungan dengan itu sebagai bahan perbandingan Adesina *et al* (2012) menghitung kepadatan (*density*) dengan menggunakan formula Sharma (1998) sebagai berikut.

$$D = \frac{\frac{\text{Frequency}}{100} \times \text{Abundance}}{\text{Number of quadrats}}$$

Mehra (2009) memberikan rambu-rambu bahwa kelimpahan memang dekat dan berhubungan dengan kepadatan (jumlah atau 1 jenis dengan kepadatan sama pada 2 komunitas mungkin atau bisa jadi berbeda kelimpahan). Sehubungan dengan itu, Kohli *et al* (2007) menegaskan bahwa kepadatan spesies mencerminkan kekuatan numerik dari jenis dalam suatu komunitas tertentu. Kelimpahan juga dihitung seperti kepadatan tetapi dalam kasus ini, kuadrat dipertimbangkan untuk perhitungan hanya dimana jenis benar-benar terdapat. Sebagai contoh, jika suatu jenis terdapat hanya 3 kuadrat dari total 5 yang dipelajari, maka jumlah total individu dari jenis ini dibagi 3 (bukan 5, seperti kasus kepadatan).

Menurut Santosa (2007) cara interpretasi data kelimpahan adalah jika A merupakan jenis hewan yang bermanfaat bagi pertanian/lahan, semakin tinggi nilai K atau KR berarti pengelolaan tanah dan tanaman mengarah pada kebersinambungan budi daya tanaman. Jika A merupakan jenis hewan yang merugikan bagi pertanian/lahan, semakin tinggi nilai K atau KR berarti pengelolaan tanah dan tanaman secara ekologis tidak menguntungkan dan pada nilai tertentu (ambang batas) mengancam kebersinambungan budidaya tanaman. Hal ini juga dipengaruhi oleh kelimpahan hewan tanah lain yang bertindak sebagai predator bagi jenis hewan yang merugikan tersebut.

#### 4. Kesamaan Komunitas

Apabila struktur komunitas suatu daerah berubah, maka spesies yang ditemukan di tempat yang satu dengan tempat lain cenderung berbeda. Upaya membandingkan suatu komunitas atas dasar komposisi jenisnya amat penting untuk sebagai upaya mengetahui berbagai proses pengendali struktur komunitas dan sebagai upaya menjaga komunitas alami tetap lestari (Smith & Smith, 2006; Suheriyanto, 2008).

Komposisi jenis 2 komunitas dapat kita bedakan atau perbandingan memakai Indeks Sorensen (Cs) (Southwood, 1980) yang rumusnya adalah:

$$Cs = \frac{2j}{(a + b)}$$

Keterangan: j = jumlah terkecil individu dari jenis yang sama pada kedua komunitas, a = jumlah individu pada habitat a, dan b = jumlah individu pada habitat b.

Suheriyanto (2008) mencoba memberikan contoh bagaimana menghitung kesamaan komunitas, dengan contoh kasus Tabel 5.1.

**Tabel 5.1. Contoh Hipotesis Jumlah Individu dari Beberapa Jenis di Dua Habitat Berbeda**

Spesies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jumlah
Habitat a	47*	41	23	15	5	2	1*	0*	0*	134
Habitat b	50	28*	5*	6*	1*	0*	3	6	1	100

Sebagai contoh, dari Tabel X diperoleh nilai j (yang bertanda \*) sebesar  $47 + 28 + 5 + 6 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 = 88$ ,  $a = 134$  dan  $b = 100$ .

$$Cs = \frac{2j}{(a + b)} = \frac{(2 \times 88)}{(134 + 100)} = \frac{176}{234} = 0,75$$

Nilai Indeks Sorensen ( $C_s$ ) beragam, dari 0 hingga 1. Nilai 0 apabila ada jenis sama pada dua komunitas, sementara 1 akan diperoleh ketika semua komposisi jenis di dua komunitas adalah sama (Smith & Smith, 2006; Suheriyanto, 2008).

## 5. Dominansi

Komunitas dalam kondisi alamiah diatur oleh faktor abiotik, yaitu kelembaban, suhu, dan faktor biologi. Terkendalnya suatu komunitas secara biologi ditentukan oleh adanya jenis tunggal atau kelompok jenis dominan. Tinginya dominansi menggambarkan rendahnya keanekaragaman (Odum, 1998).

Menurut Suheriyanto (2008) di dalam kondisi yang beragam, satu jenis tidak dapat menjadi lebih dominan daripada yang lain, sedangkan di dalam komunitas yang kurang beragam, maka satu atau dua jenis dapat mencapai kepadatan yang lebih besar daripada yang lain. Dominansi merupakan perbandingan antara jumlah individu dalam suatu jenis dengan jumlah total individu dalam seluruh jenis.

Dominansi biasanya ditunjukkan dengan rumus indeks dominansi Simpson (C), yaitu:

$$C = \sum (ni/N)^2$$

Simbol ni adalah nilai kepentingan untuk tiap jenis dan N adalah total nilai kepentingan. Nilai indeks Simpson adalah dari 0 sampai 1. Bila terdapat ada 1 jenis maka nilai indeks adalah 1. Namun bila kekayaan jenis serta pemerataan jenis naik maka nilai indeks menuju angka 0 (Smith & Smith, 2006; Suheriyanto, 2008).

## 6. Pola Distribusi (Pola Spasial)

Pola distribusi bergantung pada sifat fisikokimia lingkungan maupun keistimewaan biologis organisme itu sendiri (Michael, 1994). Teknik pengukuran untuk penentuan pola distribusi dilakukan sebelum melakukan pendugaan kepadatan atau kelimpahan suatu organisme. Pada dasarnya untuk menentukan pola distribusi dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode plot (kwadrat), transek sabuk (*belt transect: contiguous transect's*) dan *plotless* atau *distance methods*. Pola distribusi dihitung dengan menggunakan rumus Indeks Morisita. Dalam suatu penelitian simulasi, didapatkan bahwa Indeks Morisita merupakan suatu metode yang terbaik pada pengukuran dispersi, karena indeks ini tidak bergantung kepada kepadatan populasi dan ukuran sampel ataupun luas stasiun pengambilan sampel (Rani, 2003).

Adapun rumus indeks Morisita, sebagai berikut:

$$Id = n \left( \frac{\sum x^2 - N}{N(N-1)} \right)$$

Keterangan:

Id = Indeks Morisita,

n = jumlah plot,

x = jumlah individu tiap plot atau contoh petak ukur,

$\sum x^2$  = jumlah kuadrat seluruh spesies tiap plot atau contoh petak ukur

N = jumlah individu keseluruhan.

Menurut Riyanto (2007) ketentuan interpretasi nilai N, yaitu  $Id = 1$  pola distribusi adalah acak (*random*),  $Id > 1$  pola distribusi adalah

mengelompok (*clumped*),  $I_d < 1$  pola distribusi adalah teratur/seragam (*uniform*).

Uji statistik Chi-kuadrat digunakan untuk menguji kebenaran IndeksMorisita (Rani, 2003):

$$X^2 = (n \sum X^2 / N) - N$$

Nilai Chi-square ( $X^2$ ) yang didapatkan selanjutnya dibandingkan nilai  $X^2_{\text{tabel}}$  dengan menggunakan selang kepercayaan 90% ( $\alpha = 0,10$ ). Jika  $X^2_{\text{hitung}}$  kurang dari  $X^2_{\text{tabel}}$ , maka perbedaan pola distribusi tidak ada yang nyata dengan acak (mengelompok).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# BAB 6

## PENGAMATAN HEWAN TANAH

### A. Pengamatan Struktur Komunitas Hewan Tanah

#### 1. Lokasi Penelitian

**P**ara praktikan atau peneliti dapat melakukan penelitian terkait hewan tanah pada berbagai lokasi, tentu saja dengan pertimbangan-pertimbangan yang telah dijelaskan pada proposal penelitian ataupun skripsi. Misalnya, Indahwati *et al* (2012) melakukan penelitian keragaman arthropoda tanah pada lahan apel yang telah diberi pupuk organik, Rohman *et al* (2014) mengkaji jenis-jenis serangga tanah pada ekosistem pertanian Daerah Aliran Sungai Bantas Hulu Desa Sumberejo Batu, dan Ibrahim *et al* (2014) mengkaji keanekaragaman mesofauna tanah daerah pertanian apel Desa Tulungrejo Kecamatan Bumiaji Kota Batu. Lokasi penelitian Husamah *et al* (2016) adalah 3 tipe habitat, yaitu tipe habitat hutan (stasiun 1), tipe habitat pertanian (stasiun 2), dan tipe habitat pemukiman (stasiun 3) di DAS Brantas Hulu Kota Batu, serta Husamah (2015) melaksanakan penelitian di kawasan agroekosistem apel (sistem semiorganik dan anorganik) Desa Tulungrejo, Kecamatan Bumiaji Kota Batu.

#### 2. Alat

Alat yang umumnya digunakan dalam pengamatan (praktikum dan penelitian) adalah:

- a. Bor tanah/Cangkul/sekop.
- b. Pisau dan gunting.
- c. Bak dan kantong plastik.
- d. Ayakan/saringan bertingkat.
- e. Kain katun/kain blacu.
- f. Meteran.

- g. Thermometer tanah.
- h. Corong Berlese modifikasi.
- i. Pinset.
- j. Beaker glass.
- k. Alat tulis.
- l. Tali raffia.
- m. Kertas label.
- n. Cawan petri.
- o. Nampan plastic.
- p. Sarung tangan.
- q. Penggaris.
- r. Mikroskop terdisplay LCD.
- s. *Scanning Electron Microscope*.
- t. *Soil tester*.
- u. Kamera digital.
- v. Lampu (5 watt, 25 watt, 100 watt).
- w. Kabel dan listrik.
- x. Kardus.
- y. *Global Positioning System*.

Perlu diperhatikan adalah bisa jadi alat yang digunakan lebih sedikit dan sederhana atau mungkin saja lebih lengkap dan canggih. Hal ini tentu sesuai dengan kebutuhan dan tujuan pengamatan (praktikum dan penelitian) yang dilakukan. Juga ditentukan oleh ketersediaan alat di lokasi penelitian atau diinstitusi yang bersangkutan. Karmana (2010) misalnya hanya menggunakan alat berupa kantong plastik (bekas wadah air minum gelas), *soil tester*, loupe, termometer, cetok, hygrometer, kertas label, kertas tissue, isolasi transparan, jarum, kamera, dan gunting.

### 3. Bahan

Bahan yang umumnya digunakan dalam pengamatan (praktikum dan penelitian) hewan tanah adalah:

- a. Formalin 2-5% atau alkohol 70%.
- b. Air sabun.

- c. Aquades dan air biasa
- d. Contoh tanah
- e. Sampel Hewan
- f. Bahan-bahan kimia untuk analisis tanah di laboratorium
- g. Contoh jenis tumbuhan dominan yang ada di stasiun penelitian

#### 4. Pengumpulan Data

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengumpulan data dalam penelitian ini antara lain:

##### a. Tahap Persiapan

Pada tahap ini peneliti melakukan studi pendahuluan (observasi) pada lokasi/habitat/tempat yang akan diteliti hewan tanahnya.

##### b. Tahap Pelaksanaan

###### 1) Penentuan Stasiun Penelitian

Penentuan stasiun penelitian misalnya dapat didasarkan pada kondisi penggunaan lahan selama ini, tanah dengan pola pertanian berbeda, lahan bekas kebakaran, lahan tambang dan lain-lain. Contoh: Menurut Husamah (2013) di Taman Hutan Rakyat R. Soerjo desa Sumber Brantas (tipe habitat hutan), desa Pandanrejo (tipe habitat pertanian), dan desa Torongrejo (tipe pemukiman) Kota Batu.

###### 2) Penentuan Garis Transek dan Titik Plot (Pengambilan Sampel/ Contoh)

Pengambil contoh untuk penelitian hewan tanah perlu menetapkan lebih dahulu titik-titik pengambilan contoh yang dikehendaki. Banyak pilihan metode penarikan contoh yang bisa digunakan, namun hanya beberapa yang relatif sering digunakan (Hidayat & Makarim, 1992), yaitu:

- a) Metode transek atau diagonal dimana titik-titik pengambilan contoh pada suatu areal ditetapkan secara garis lurus dengan jarak antara titik-titik telah ditetapkan pula. Digunakan pada areal pengamatan yang relatif luas dan mempunyai agroekosistem relatif homogen.
- b) Metode *stratified* yaitu areal pengamatan dibagi dalam strata-strata. Tiap strata ditetapkan jumlah titik pengambilan

contoh yang akan diamati. Metode ini digunakan apabila bidang pengamatan dianggap heterogen, sehingga perlu pembagian strata-strata dengan pertimbangan setiap strata mewakili kondisi agroekosistem masing-masing.

- c) Metode acak penuh yaitu titik pengambilan contoh ditetapkan secara acak hanya berdasarkan pertimbangan aksesibilitas, kemudahan pengamatan pada areal yang relatif homogen, dengan tidak mengabaikan kaidah-kaidah penelitian.
- d) Metode zigzag yaitu menempatkan titik-titik pengambilan contoh tanah secara zigzag pada kondisi areal pengamatan sesuai keadaan lapangan.

Selain empat metode di atas, praktikan atau para calon peneliti dianjurkan untuk merujuk pada buku *Metode Sampling Bioekologi* karya Fachrul (2012) agar lebih mudah memahami teknik sampling. Adapun contoh penentuan garis transek dan titik plot/sampel misalnya pada penelitian yang dilakukan Husamah (2014) dan Husamah (2015). Sampel dalam penelitian ini adalah Collembola tanah yang terdapat pada 150 plot penelitian yang mewakili 3 tipe habitat yaitu tipe habitat hutan, pertanian, dan pemukiman di DAS Brantas Hulu Kota Batu (1 habitat terdiri dari 50 plot).

Teknik yang digunakan adalah *purposive sampling* dengan alasan yaitu lokasi kemungkinan dijumpai komunitas Collembola tanah, memenuhi pertimbangan tipe habitat, dan berada di sepanjang DAS Brantas Hulu Kota Batu. Penentuan garis transek dilakukan pada masing-masing stasiun, dibuat garis transek sebanyak 10 buah dengan panjang 100 meter dan jarak masing-masing transek adalah 20 meter. Pada setiap garis transek dibuat 10 plot berukuran 25x25 cm dengan jarak antar plot adalah 10 meter. Dapat pula menggunakan contoh penelitian Ibrahim (2014) dan contoh-contoh penelitian sejenis yang dapat ditemukan pada jurnal ilmiah maupun internet.

### 3) Tahap Pelaksanaan Pengumpulan Sampel Hewan

Teknik pengambilan contoh tanah untuk analisis hewan di permukaan dibedakan dengan hewan yang terdapat di dalam

tanah (bawah permukaan) karena ada perbedaan dinamika hewan tanah yang terkait dengan jenis perlakuan atau variasi penggunaan tanah (Anwar, 2007). Pengambilan contoh hewan tanah dimulai dengan pengambilan contoh tanah di lapangan. Pada prinsipnya pengambilan contoh tanah adalah mengambil tanah dengan suatu alat pada luas areal dan kedalaman tertentu. Pengambilan contoh tanah dapat dilakukan dengan metode kuadrat (persegi) atau dengan bor tanah. Pengambilan contoh tanah dengan metode kuadrat dilakukan dengan cara membuat kuadrat di atas tanah dengan luas tertentu, misal dengan ukuran 25x25 cm atau 50x50 cm, sesuai dengan jenis hewan tanah yang akan dikoleksi, kemudian tanah tersebut digali dengan sekop sesuai kedalaman yang diperlukan. Pengambilan contoh tanah dengan bor tanah prinsipnya sama hanya pengambilan contoh tanah dengan bor tanah ukuran luas contoh tanah telah disesuaikan dengan diameter bor yang digunakan. Kedalaman contoh yang diambil sangat tergantung pada hewan yang akan diteliti (Anwar, 2007; Suin, 2012).

Menurut Santosa (2007) kendala utama analisis struktur komunitas hewan tanah adalah identifikasi dan klasifikasi tanah tanah, disamping cara koleksi tanah pada agroekosistem lahan sawah maupun lahan rawa. Hal ini disebabkan jenis tanah cukup beragam, sedangkan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi tanah diperlukan pengetahuan/pengenalan morfologi dan anatomi dari setiap jenis tanah tanah. Apabila terdapat banyak larva, untuk mengklasifikasikannya ke dalam tingkat Ordo perlu pengenalan/pengetahuan yang mendalam, apalagi untuk penetapan pada katagori takson yang lebih rendah. Demikian pula pada lahan sawah maupun rawa, diperlukan teknik pengambilan tanah yang lebih tepat dan mudah dikerjakan sesuai dengan perilaku fauna, sehingga contoh fauna yang diambil betul-betul mewakili fauna tanah yang mendiami dan hidup pada agroekosistem tersebut. Cara pengambilan dengan corong Berlese-Tullgren tidak bisa diterapkan pada agroekosistem ini.

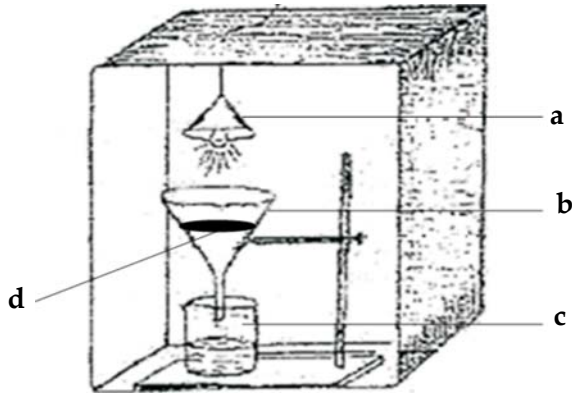
Pengambilan sampel hewan tanah umumnya menggunakan metode standar dari program *Tropical Soil Biology and Fertility Program* (TSBF) dan *Hand Book Method* (Anderson & Ingram, 1993)

dengan metode pengambilan contoh tanahnya menggunakan metode kuadrat (persegi), dengan langkah-langkah, yaitu 1) penetapan titik-titik pengambilan contoh, 2) pengambilan contoh tanah, dan 3) pemisahan hewan tanah dan pengelompokannya atau koleksi (Anwar, 2007). Langkah-langkah tersebut dalam penelitian ini dikembangkan sebagai berikut:

a) Cara Corong *Barlese Tullgren*/Metode *Neuman*

- Pengambilan sampel dilakukan pada masing-masing stasiun/habitat. Contohnya, pada setiap stasiun atau habitat akan dibuat 10 transek dan pada setiap transek dibuat 10 plot berbentuk kuadrat 25x25 cm secara diagonal dengan kedalaman 30 cm. Penentuan titik sampel dengan menggunakan plot tersebut dan diambil sebanyak 1 sampel. Dengan demikian maka akan ada 100 plot atau 100 titik sampel pada masing-masing stasiun/habitat.
- Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan bor tanah atau cangkul serta sekop.
- Selanjutnya sampel tanah dimasukkan kedalam kain blacu atau kantung yang terbuat dari kain katun.
- Sampel tanah dalam kantung dimasukkan ke dalam kardus tertutup untuk menghindari penguapan yang berlebihan selama dalam perjalanan.
- Sampel tanah yang diambil dibawa ke Laboratorium dan perjalanan tidak boleh lebih dari 4 jam agar hewan tidak mati dalam perjalanan.
- Penyortiran hewan di laboratorium dilakukan dengan menggunakan metode corong *Barlese Tullgren* yang dimodifikasi. Sampel tanah dimasukkan ke corong selanjutnya lampu pemanas 25 watt dinyalakan selama 20 menit kemudian lampu diganti 100 watt dan dibiarkan 40 menit. Pada bagian bawah corong ditempatkan perangkap yang berisi alkohol 70% sebagai fiksatif untuk menangkap Collembola yang jatuh. Beberapa penelitian terdahulu juga menggunakan lampu 5 watt dan dibiarkan selama 3 hari dengan tetap menjaga kelembaban.

Alat corong Barlese Tullgren disajikan pada Gambar 6.1:



**Gambar 6.1. Corong Barlese Tullgren**

(Sumber: Suin, 2012)

Keterangan: a. Lampu, b. Corong, c. Gelas penampung atau Beaker glass, dan d. Penyaring

b) Cara Pitfall Trap

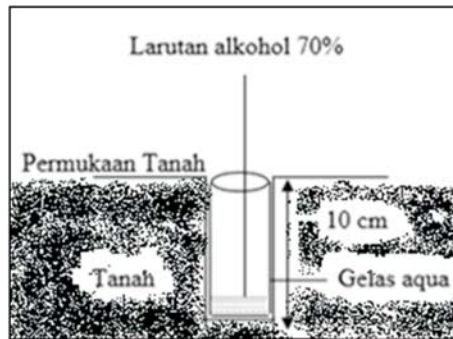
Untuk membandingkan populasi fauna tanah antar plot sebagai akibat perlakuan, maupun untuk mengetahui dinamika populasi fauna permukaan tanah misalnya di hutan alami digunakan perangkap "*Barber*" atau disebut juga "*pitfall trap*" (Anderson & Ingram, 1993). Perangkap "*Barber*" yaitu suatu bejana atau gelas bekas air mineral bergaris tengah 8 cm, tinggi 10 cm atau botol gelas dengan lebar mulut 10-15 cm. Penangkapan dengan perangkap *pitfall trap* dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- Memasang perangkap yang berupa gelas plastik yang telah diisi dengan formalin 4% ditambah larutan deterjen kurang lebih  $\frac{1}{4}$  dari tinggi gelas.
- Wadah di bagian atasnya diberi atap ukuran 20x20 cm, untuk menghindari masuknya air hujan maupun sinar matahari serta kotoran yang mungkin jatuh ke dalam wadah.
- Atap dipasang setinggi  $\pm 15$  cm di atas permukaan tanah. Pemasangan perangkap harus rata dengan tanah, serta diusahakan tidak sampai ada tanah yang masuk ke dalam

gelas plastik supaya tidak mengganggu proses pengambilan sampel dan hasilnya dapat maksimal.

- Perangkat ini dipasang selama 24-48 jam, hewan tanah yang tertangkap diawetkan dalam larutan alkohol 70%, diamati di bawah mikroskop, dan diidentifikasi.

Contoh pemasangan perangkat jebak (*pitfall*) ditunjukkan Gambar 6.2.



**Gambar 6.2. Contoh Pemasangan Perangkat Jebak**

(Sumber: Ummi, 2007)

c) *Cara Hand Sorting*

Jika di dalam sampel yang diambil ternyata cukup banyak serasah bahan organik, maka pisahkan hewan tanah dari serasah dengan metode pengapungan. Hal ini juga dilakukan apabila hewan yang akan dicari bersifat makro sehingga mudah dilihat. Caranya yaitu, buang alkohol dalam tabung dan ganti dengan larutan garam NaCl 30% (30 g NaCl dilarutkan dalam 100 ml air), hewan akan mengapung di permukaan larutan (Santosa, 2007). Cara lain adalah dengan langsung memeriksa/mengamati hewan apa saja yang ada di tanah secara langsung. Cara ini juga sering digunakan untuk penelitian makrofauna. Menurut Anderson & Ingram (1993) metode dengan pengambilan contoh tanah monolit atau metode TBSF memiliki tahapan prosedur sebagai berikut.

- Tahapan pengambilan contoh tanah cara 'monolit' pada tiap titik pengambilan contoh sepanjang garis penarikan contoh.



- Tentukan dan tandai dengan ajir 5-10 titik pengambilan contoh untuk 'monolit', sesuai jarak antara ajir 5-10 m sepanjang garis penarikan contoh. Lebih banyak jumlah monolit lebih bagus untuk analisis data statistik, minimum 5 monolit dan 8 monolit cukup memadai. Penandaan dengan ajir jangan sampai mengganggu kehadiran fauna tanah.
- Pada tiap titik pengambilan contoh, sekitar luasan 25x25 cm dibersihkan dari sampah dengan tangan. Ikuti dengan menetapkan secara pasti posisi monolit dengan menggunakan penggaris persegikayu atau logam dengan luas 25x25 cm pada dimensi luar.
- Isolasi monolit dengan memotong ke bawah menggunakan sekop beberapa cm di luar penggaris persegi dan gali pada lebar 20 cm dan kedalaman parit 30 cm mengelilinginya.
- Pada sisi lain blok monolit arah vertikal cangkil dengan sekop, dan arah horisontal potong dengan parang sehingga diperoleh blok-blok monolit dengan kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, dan 30- 40 cm.
- Tanah hasil galian pada parit sekitar blok monolit, wadahi pada kantong kain, kemudian lakukan sortasi dengan tangan atau dengan metode lain setelah sortasi pada blok monolit selesai, kumpulkan semua invertebrata yang mempunyai panjang tubuh lebih dari 10 cm, seperti kaki seribu, dan cacing-cacing tanah. Walau kepadatan populasinya rendah namun dianggap mewakili biomassa yang penting. Konversi kelimpahan kepada volume 0,42 m<sup>3</sup> contoh, yaitu lebar blok ditambah dua lebar parit persegi dikalikan kedalaman 30 cm.
- Lakukan sortasi dengan tangan secara terpisah pada masing-masing lapisan blok monolit. Jika waktu yang tersedia terbatas atau cahayakurang (sorting pada kanopi hutan yang rapat biasanya susah dilakukan setelah lewat jam 3.30), masukkan tanah ke dalam tas kain untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk sortasi. Pisahkan semut semut dengan hati-hati

menggunakan kuas kecil pada sekepal (sejumlah kecil) tanah lalu diayak pada ayakan 5 mm di atas nampan/ayakan akan menahan semut. Hindarkan tas kain tempat tanah dari cahaya matahari langsung dan lakukan sortasi dalam waktu maksimum 24 jam dari pengambilan contoh, lebih cepat lebih bagus.

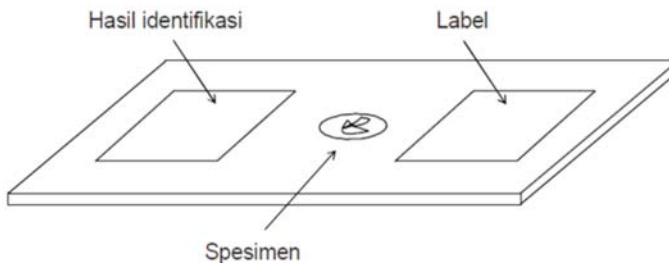
- Catat jumlah dan berat utuh (basah) semua binatang dan identifikasi termasuk taksonomi dan indikasi level fungsional (berat, volume, dan jumlah).
- Jika timbangan tidak tersedia di lapangan, perkirakan berat basah untuk menjaga spesimen dari kehilangan data, kemudian timbang di laboratorium setelah sedikit kering (mengalami penurunan kadar air).
- Buat daftar spesies atau jenis, jika mungkin golong-golongkan sampai jenis.

#### 4) Identifikasi Sampel

Sampel yang didapatkan lalu diamati atau diidentifikasi dengan menggunakan bantuan mikroskop stereo, mikroskop terdisplay LCD atau dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Laboratorium. Identifikasi masing-masing jenis hewan berdasarkan klasifikasi dari taksonomi hewan dan setiap jenis ditentukan nama jenisnya sampai pada katagori takson paling rendah yang dimungkinkan/diketahui, misalnya sampai pada katagori takson famili, genus, atau jenis. Hitung berapa jenis hewan yang ada, jumlahkan setiap individu dalam tiap-tiap jenis, dan catat seperti pada lembar data pengamatan (pada contoh lembar data pengamatan dipersingkat) seperti di pada lembar data pengamatan. Bila tahap identifikasi selesai maka lakukan penghitungan dan interpretasikan data yang diperoleh pada setiap titik pengamatan.

Identifikasi masing-masing jenis fauna berdasarkan klasifikasi dari taksonomi hewan dan setiap jenis ditentukan nama jenisnya sampai pada katagori takson paling rendah yang dimungkinkan/diketahui, misalnya sampai pada katagori takson famili, genus, atau spesies. Pelaksanaan identifikasi untuk menentukan klasifikasi fauna tanah bagi mikrofauna yang membutuhkan

pengamatan morfologi/anatomi lebih terinci, amati dengan menggunakan mikroskop yaitu dengan membuat preparat lebih dahulu bagi spesimen yang akan diamati. Teteskan larutan Hoyer di bagian tengah gelas preparat ukuran 55x75 mm, letakkan specimen-spesimen dari satu spesies hewan menempel di atas tetesan larutan Hoyer pada berbagai posisi yang berbeda (*ventral* = arah perut, *dorsal* = arah punggung, dan *lateral* = arah samping). Bagian kanan gelas preparat diberi label yang berisi tanggal, lokasi, dan nama kolektor. Bagian kiri untuk mencatat hasil identifikasi meliputi nama spesies/jenis dan famili, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3.



**Gambar 6.3. Preparat Mikrofauna Tanah untuk Diidentifikasi dengan Pengamatan di Bawah Mikroskop**

(Sumber: Santosa, 2007)

Sampel hewan tanah diidentifikasi sampai pada tingkat spesies dengan mengacu pada berbagai buku atau literatur yang sesuai, misalnya *Classification of Insects* (Brues *et al*, 1954), *Fundamentals of Entomology* (Elzinga, 1978), *Soil Biology Guide* (Dindal, 1990), *Kunci Determinasi Serangga* (Siwi *et al.*, 1993), dan *Pengenalan Pelajaran Serangga* (Borror *et al*, 1996). Menurut Santosa (2007) buku taksonomi hewan tingkat rendah seperti buku *Invertebrata*, *Arthropoda*, atau buku biologi tanah dapat dipakai untuk identifikasi fauna tanah, sedangkan untuk mesofauna dan mikrofauna yang lebih terperinci dapat menggunakan buku "*A Manual of Acarology*" (Krantz, 1978) untuk identifikasi Acarina dan buku "*True Bugs of the World, Classification and Natural History*" (Schuh & Slater, 1995) untuk identifikasi Hemiptera dan Heteroptera. Identifikasi untuk makrofauna dan mesofauna dapat menggunakan literatur yang sesuai dan website <http://>

www.bugguide.net. Sementara, khusus untuk Collembola dapat menggunakan *The Biology of Springtail, Insecta: Collembola* (Hopkin, 1997), petunjuk buku *Collembola* (Suhardjono *et al*, 2012), *Check List of Collembolan Species Reported from Indonesia* (Yosii, 1966), dan website resmi (identifikasi juga dapat mengacu pada panduan Collembola yang terpublikasi di <http://www.collembola.org>).

##### 5) Pengukuran Faktor Lingkungan Abiotik

Faktor lingkungan yang umumnya diukur telah dijelaskan pada bagian lain buku ini. Pengukuran faktor lingkungan abiotik dilakukan 1 kali pada saat siang hari langsung di stasiun/habitat. Pada contoh penelitian, misalnya suhu tanah diukur menggunakan *soil thermometer*. Kelembaban atau kadar air tanah dan pH diukur dengan menggunakan *soil tester*. Kadar air tanah juga dapat diukur dengan metode Gravimetrik. Sampel tanah juga akan diambil untuk dilakukan uji laboratorium untuk mengukur faktor kimia tanah (Sinamo, 2010). Faktor kimia tanah yang diteliti adalah C-organik, N, P, dan K. Variabel faktor lingkungan abiotik yang diukur dan alat yang digunakan untuk pengukuran dapat dilihat pada Tabel 6.1.

**Tabel 6.1. Pengukuran Faktor Lingkungan Abiotik**

No	Variabel	Satuan	Alat
1	Suhu	°C	<i>Soil thermometer</i>
2	Kadar air tanah /Kelembaban	%	Teknik gravimetrik/ <i>soil tester</i>
3	Derajat keasaman (pH)	-	pH-meter / <i>Soil tester</i>
4	Bahan Organik/C-Organik	%	Uji Laboratorium
5	N, P, dan K	-	Uji Laboratorium

## 5. Contoh Teknik Analisis Data

Supaya memperoleh hasil yang jelas mengenai data dan masing-masing jenis Collembola tanah serta untuk menguji hipotesis, maka terlebih dahulu perlu dilakukan deskripsi data untuk masing-masing variabel penelitian. Setelah deskripsi data, maka selanjutnya dilakukan analisis data. Jenis analisis data yang digunakan adalah statistik inferensial, khususnya statistik parametrik sebagai berikut.

- Penentuan perbedaan jumlah jenis dan jumlah individu Collembola tanah yang ditemukan pada 3 tipe habitat di DAS Brantas Hulu

menggunakan analisis ragam satu arah (*one-way ANOVA*) dan uji jarak berganda Duncan (DMRT) 95% setelah melalui uji prasyarat (uji normalitas dan uji homogenitas dari data masing-masing tipe habitat). Uji normalitas dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) dan uji homogenitas dilakukan melalui prosedur *Levene test*. Analisis dilakukan dengan bantuan SPSS *for Windows* versi terbaru.

- b. Pengaruh suhu, kadar air tanah, C-organik, dan pH terhadap jumlah jenis dan jumlah individu Collembola tanah diketahui dengan analisis multivariat atau regresi ganda dengan metode *enter*, kemudian dilanjutkan dengan metode *stepwise*. Analisis tersebut dilakukan setelah uji prasyarat terhadap, yaitu uji normalitas dan uji homogenitas terhadap data masing-masing tipe habitat. Uji normalitas dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* dan uji homogenitas dilakukan melalui prosedur *Levene test*. Analisis dilakukan dengan bantuan SPSS *for Windows* versi terbaru.

Data juga dianalisis secara deskriptif dengan perincian sebagai berikut.

- a. Keanekaragaman Collembola tanah ditentukan dengan menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener ( $H'$ ).
- b. Kemerataan Collembola tanah ditentukan menggunakan Evenness ( $E$ ).
- c. Kelimpahan relatif merupakan data rasio yang dihitung dengan rumus.

Bagi mahasiswa atau para peneliti yang tertarik mempelajari berbagai teknik analisis data ekologi secara lebih mendalam dan komprehensif disarankan untuk membaca buku-buku terkait, salah satunya adalah karya Hariyanto *et al* (2008). Pelajari khususnya Bab 2 tentang Sampling Ekologi, Bab 3 tentang Analisis Statistik, dan bab-bab lain yang dirasa perlu dan sesuai.

## B. Pengelolaan Spesimen Hewan Tanah

Salah satu cara yang baik untuk mempelajari hewan tanah adalah dengan cara pergi langsung ke lapangan untuk menemukan koleksi. Namun demikian, mempelajari hewan tanah tentu tidak mungkin dilakukan di lapangan setiap waktu dibutuhkan (misal untuk penelitian, pembelajaran, atau lainnya). Kita tentu memiliki keterbatasan, khususnya waktu. Oleh karena itu, diperlukan langkah pengelolaan terhadap hewan

tanah yang telah didapatkan, untuk dijadikan koleksi dan diamati di laboratorium, terlebih bila hewan tersebut termasuk kategori unik, langka, atau susah diperoleh/ditangkap.

Hal yang perlu diperhatikan adalah umumnya dalam kegiatan penelitian, metode identifikasi berbagai hewan tanah dilakukan dengan cara membandingkan fitur morfologi dengan deskripsi yang sudah dipublikasikan, dan sering kali menggunakan bantuan kunci identifikasi. Oleh sebab itu, hewan tanah yang akan diidentifikasi harus diawetkan dan dibuat preparat untuk diobservasi, diamati, didokumentasikan (direkam/difoto) dan diukur di bawah mikroskop. Agar identifikasi memenuhi tingkat kepercayaan yang memadai/valid maka dibutuhkan beberapa jumlah hewan. Penelitian nematoda misalnya, sekurang-kurangnya dibutuhkan 5-10 ekor nematoda betina dewasa, termasuk nematoda jantan. Hal itu dikarenakan pengenalan fitur biasanya dibuat secara kuantitatif (seperti: panjang badan, panjang stilet, dan lain sebagainya) dan juga disebabkan adanya variasi intra spesifik (Pusat Karantina Tumbuhan, 2009)

Selain itu, dalam konteks pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan, mempelajari hewan tanah dengan menggunakan koleksi yang telah diawetkan akan lebih menarik, kontekstual, dan konstruktif dibandingkan dengan hanya mempelajari gambar yang ada di buku pegangan. Mengingat ukurannya yang relatif kecil, bisa jadi tanpa diawetkan hewan tanah mungkin hanya dapat dipakai satu kali, lalu kemudian rusak atau membusuk. Apabila diawetkan, maka hewan tanah dapat dipakai untuk jangka waktu relatif panjang. Pembuatan awetan spesimen diperlukan untuk tujuan pengamatan secara praktis tanpa harus mencari bahan segar yang baru. Terutama untuk spesimen-spesimen yang sulit di temukan di alam.

Untuk koleksi objek perlu diperhatikan kelengkapan organ tubuhnya, pengawetan dan penyimpanannya. Koleksi objek harus memperhatikan pula kelestarian objek tersebut. Perlu ada pembatasan pengambilan objek. Salah satunya dengan cara pembuatan awetan. Cara dan bahan pengawetnya bervariasi, tergantung sifat objeknya (Al, 2004). Menurut Suputa (2013) pengawetan spesimen (hewan tanah) dengan tepat memerlukan keterampilan dan pemahaman yang baik. Spesimen dibutuhkan dalam penelitian khususnya yang berhubungan dengan keanekaragaman hewan. Kesalahan dalam mengawetkan spesimen akan

berdampak fatal bagi spesimen yang direncanakan untuk disimpan. Pengawetan membutuhkan alat khusus, misalnya jarum pentul, label, pinset, lem PVAC, botol penyimpanan koleksi, alkohol, pensil atau ballpoint anti luntur, relaxing dish, span block, dan pinning block.

Setiap jenis hewan dapat diawetkan dan masing-masing diperlakukan berbeda tergantung sifat dan tahapan pertumbuhan. Umumnya ada 2 cara dalam mengawetkan, yaitu kering dan basah. Pengawetan kering biasanya digunakan untuk hewan yang tubuhnya keras (biasanya imago) dengan menusukkan jarum anti karat atau dikarding. Diameter jarum bermacam-macam, berukuran 00-9. Bila jarum ditancapkan ke tubuh hewan maka dapat menggunakan jarum baja saja.

Hewan tanah berukuran besar biasanya mengalami perubahan warna dan menjadi kotor bila mengalami pengawetan kering, sehingga isi perut perlu dikeluarkan (*gutting*) sebelum ditusukkan jarum. Kita perlu membuat belahan kecil pada sisi pleural membranantara *sternal dan tergal plates*. Pinset dapat digunakan dalam pengeluaran alimentary canal, pastikan saluran pencernaan tidak patah. Bersihkan daerah perut menggunakan tisu atau kapas. Perut diisi kapas dan ditata sehingga mirip kondisi awal. Rapatkan belahan ujung pleural membran, pastikan tertutup sebelum mengering.

Pengawetan basah biasanya untuk mengawetkan hewan dengan sifat tubuh lunak (biasanya larva). Tekniknya adalah memasukkan spesimen ke botol kaca berisi alkohol 80% lalu ditutup rapat. Botol plastik dianjurkan karena rawan retak dan bocor saat kontak alkohol. Pemilihan botol disesuaikan ukuran hewan agar tak tertekuk dan rusak. Ukuran botol akan membantu proses pengamatan karena relatif mudah saat diambil.

## 1. Cara Pengawetan

Menurut Al (2004) ada tiga langkah pokok pada pembuatan preparat hewan, yaitu:

### a. Mematikan objek

Untuk mematikan, hewan dimasukkan ke botol pembunuh. Untuk hewan yang bergerak kuat perlu dilakukan anestesi dahulu. Ada banyak macam larutan anestesi, Contoh, magnesium chloride ( $MgCl_2$ ) dan eter atau alkohol (untuk membius).

b. Fiksasi

Agar terhindar dari resiko kerusakan struktur fisik hewan dan untuk tetap mempertahankan sifat-sifat morfologik dan kimia hewan dari pencernaan jaringan oleh enzim-enzim (otolisis) atau bakteri, maka hewan harus diperlakukan dengan tepat dan memadai sebelum atau secepat mungkin dengan jalan memberikan perlakuan fiksasi. Fiksasi akan mencegah kerusakan jaringan, menghentikan proses metabolisme secara cepat, mengawetkan komponen sitologis dan histologis, mengawetkan keadaan sebenarnya, dan mengerasakan materi yang lembek. Fiksasi dimaksudkan juga untuk menstabilkan protein jaringan (Affuwa, 2007).

Larutan fiksasi juga bermacam-macam, di antaranya formalin (formaldehyde), larutan Viets, larutan Bouin. Adapun cara membuat larutan fiksatif, yaitu 1. Larutan Viets: campurkan alkohol 80% (6 bagian), dengan gliserin (11 bagian) dan asam asetat glasial (3 bagian) 2. Larutan Bouin: Asam asetat glasial (5 ml) ditambah dengan formalin 40 % (25 ml dan asam pikrat jenuh (75 ml).

c. Pengawetan

Pengawetan merupakan tindak lanjut setelah proses fiksasi, agar objek menjadi awet, tidak rusak jaringannya, tidak terjadi otolisis sel, dan terhindar dari serangan bakteri dan jamur. Bahan pengawet yang mudah adalah formalin (5 - 10%), alkohol 70%. Untuk menghindari kerusakan jaringan, fiksasi dilakukan bertahap. Objek tidak langsung direndam dalam alkohol 70%, mulai dari kadar yang rendah (30%).

## 2. Kekhasan Pengawetan Hewan

Menurut Suputa (2013) setiap jenis hewan tanah membutuhkan teknik pengawetan khusus/spesifik, sebagai berikut:

a. Laba-laba

Laba-laba diawetkan dalam etanol 80% dan ditambahkan sedikit gliserol agar hewan lemas atau memiliki fleksibilitas yang baik.

b. Collembola

Collembola dimatikan menggunakan etanol 80%. KOH digunakan untuk menjernihkan dan *slide mount* di euparal ditempatkan di bagian kanan. Gelas obyektif dan de glass dapat diletakkan dengan bantuan kutek tanpa warna. Informasi lebih lengkap untuk pengawetan



Collembola, pembaca dapat menelaah lebih lengkap di buku Collembola (Ekorpegas) karya Suhardjono *et al* (2012).

c. Protura

Proturan dimatikan menggunakan etanol 80%. KOH digunakan untuk menjernihkan dan *slide mount* di euparal ditempatkan di bagian ventral. Gelas obyektif dan de glass dapat diletakkan dengan bantuan kutek tanpa warna.

d. Diplura

Diplura dimatikan dalam etanol 80%. KOH digunakan untuk menjernihkan dan *slide mount* dalam euparal. Gelas obyektif dan de glass dapat diletakkan dengan bantuan kutek tanpa warna.

e. Thysanura

Thysanura dimatikan dan diawetkan pada etanol 80%.

f. Odonata

Odonata dapat dimatikan di botol pembunuh. Odonata dewasa dibiarkan 1-2 hari dalam amplop untuk memastikan isi perutnya terserap. Odonata mati akan membusukkan isi perut yang berpengaruh pada warna kulit perut atau putus dan hancur. Setelah mati, Odonata ditusuk pada bagian tengah mesothorax menggunakan jarum serangga. Sayap dikembangkan secara simetris.

g. Orthoptera

Orthoptera dapat dimatikan di botol pembunuh, lalu mesothorax ditusuk dengan jarum. Sayap dibentangkan, kaki dan antenna diatur sempurna.

h. Mantodea

Mantodea dewasa dimatikan di botol pembunuh, sedangkan Mantodea fase nimfa diawetkan menggunakan etanol 80%. Mantodea ditusuk jarum pada daerah mesothorax kanan dan kedua sayap dikembangkan dengan sempurna. Keluarkan isi perut, bersihkan kotoran, dan gunakan kapas untuk mengisi agar perut berbentuk.

i. Hemiptera

Hemiptera dapat dimatikan menggunakan botol pembunuh. Hemiptera ditusuk jarum di daerah skutelum kanan. Hemiptera kecil perlu dikarding, dilakukan dengan cara menempel tengah thorax pada ujung kertas segitiga dan memposisikan bagian kepala di sebelah kiri.

j. Thysanoptera

Thysanoptera dimatikan menggunakan etanol 80%. Thysanoptera diawetkan pada kertas persegi panjang, tubuh ventral menghadap atas, sayap dibentangkan, dan kaki serta sayap diatur sempurna.

k. Neuroptera

Neuroptera dewasa dimatikan menggunakan botol pembunuh. Neuroptera diawetkan pada kertas karding, tempelkan bagian di ujung kertas segitiga, tempatkan bagian kepala disebelah kiri. Neuroptera fase larva dapat diawetkan menggunakan etanol 80%.

l. Coleoptera

Coleoptera dewasa ditusuk pada daerah anterior elytron sebelah kanan sampai jarum keluar diantara coxa tengah dan belakang. Kaki diatur sempurna sampai ruas tarsi jelas. Coleoptera kecil dapat dikarding, tempelkan bagian thorax di ujung kertas segitiga, tempatkan kepala disebelah kiri. Coleoptera fase larva dapat diawetkan menggunakan etanol 80%.

m. Diptera

Diptera dewasa ditusuk jarum di daerah kanan bagian tengah mesothorax. Sayap diatur sempurna. Diptera kecil dapat dikarding, tempelkan thorax di ujung kertas segitiga, tempatkan kepala di sebelah kiri. Atur sayap dan kaki dengan sempurna. Famili Tipulidae fase dewasa dapat diawetkan menggunakan etanol 80% dan dapat pula dengan menempelkan bagian thorax di kartu segiempat menggunakan lem. Diptera fase larva dapat diawetkan menggunakan etanol 80%.

n. Lepidoptera

Lepidoptera fase dewasa ditusuk jarum di garis tengah mesothorax, atur sayap dengan sempurna pada span block. Lepidoptera fase dewasa diawetkan menggunakan etanol 80%.

o. Hymenoptera

Hymenoptera dewasa ditusuk di kanan garis tengah mesothorax, atur sayap sampai venasi jelas. Hymenoptera berukuran kecil harus dikarding, tempelkan tengah thorax di ujung kertas segitiga, tempatkan kepala disebelah kiri. Hymenoptera fase larva diawetkan menggunakan etanol 80%.

### 3. Pemberian Label Informasi Terkait Spesimen

Menurut Suputa (2013) pengawetan hewan tanah perlu dilengkapi label untuk memberikan arti ilmiah. Label umumnya berisi informasi tentang tempat penemuan, tanggal, dan siapa pengoleksinya (kolektor), nama spesies hewan tanah dan bila perlu nama orang yang membantu determinasi.

#### a. Lokasi

Lokasi tempat hewan tanah ditemukan harus ditulis dengan baik agar dapat ditemukan di peta. Nama lokasi (desa dan kota) harus ditulis lengkap. Mengingat saat ini peralatan sudah relatif canggih dan adanya tuntutan standarisasi internasional, maka informasi titik koordinat yang dapat dilihat menggunakan *Global Positioning System* (GPS) harus dicatat, misalnya 37001'S 134027'E.

#### b. Waktu koleksi

Informasi waktu koleksi berfungsi memberikan gambaran kemungkinan musim ketika koleksi dilakukan. Catatlah informasi mengenai hari, tanggal, bulan, serta tahun. Gunakan standar internasional dalam mencatat waktu, gunakan angka Arab, misal 07 Mar 2017, atau khusus bulan menggunakan Romawi misalnya 07.iii.2017. Tidak boleh menulis dengan 07.03.2017 karena dalam bahasa Inggris bisa jadi diartikan bulan Juli tanggal 3, tahun 2017. Tahun tidak boleh disingkat. Apabila koleksi dilakukan dalam waktu yang berurutan maka dapat ditulis dengan 02-07. iii.2017.

#### c. Kolektor

Pencatatan nama koleksi sangat penting dilakukan untuk korespondensi suatau saat bila diperlukan, memungkinkan adanya konfirmasi, pengecekan kebenaran informasi, komunikasi secara luas antar orang-orang yang memiliki minat sama, dan memungkinkan kerjasama. Pencatatan nama kolektor dapat dilakukan dengan menulis kata akhir nama, dan nama depan dicatat singkat, misalnya M. E. Alkhawarizmy.

#### d. Informasi lain

Terkadang kita memiliki berbagai informasi penting yang spesifik untuk spesies tertentu, misalnya tentang 1) inang serangga parasitik dan tumbuhan inang hewan fitopagus dan 2) informasi habitat meliputi tinggi tempat, tipe ekosistem, tipe substrat, dan cuaca ketika

proses pengambilan specimen dilakukan. Informasi itu tentu sayang bila tidak disampaikan. Informasi itu ditulis di label khusus (label tambahan), melekat kuat, berwarna putih, tinta hitam anti luntur, kualitas kertas label harus baik. Ukuran label harus proporsional, umumnya maksimal 18 mm x 8 mm. Label awetan dalam alkohol maksimal 5 x 2 cm.

#### 4. Rambu-rambu Koleksi dan Pengelolaan Spesimen

Menurut Suhardjono (2006) ada beberapa hal (rambu-rambu) yang perlu diperhatikan dalam melakukan koleksi dan pengelolaan spesimen hewan tanah, yaitu:

##### a. Koleksi spesimen dan pengelolaan

Bagi ilmuwan yang fokus pada kajian taksonomi, pengelolaan spesimen adalah hal yang perlu diperhatikan. Penyimpanan tidak hanya sekedar memastikan bahwa spesimen dapat bertahan dalam waktu lama, tetapi harus memastikan pula bahwa pengelola dan pengguna akan aman serta selamat bila menggunakan spesimen tersebut. Menurut Prijono *et al.* (1999) bahan untuk menyimpan spesimen harus bersifat netral (pH normal) dan tidak diperkenankan menggunakan wadah penyimpanan yang berpotensi memudahkan warna organ hewan.

Dua puluh tahun terakhir, penggunaan bahan bersifat karsinogenik sangat dilarang secara internasional, misalnya formalin, paradichlorbenzene, arsenic, kapur barus (melebihi ketentuan) dan sublimat. Formalin bukan sebagai pengawet, tetapi fiksatif. Alkohol 70-95% merupakan pengawet basah yang dilegalkan secara global. Penggunaan arsenik untuk kulit mamalia dan burung kini diganti boraks. Meskipun kualitas pengawetanya lebih rendah tetapi akan maksimal bila dikelola dengan tepat, misalnya memperhatikan konsistensi suhu ruang yang tepat. Instabilitas suhu dan kelembaban ruang menjadi ancaman pengelolaan spesimen. Kelembaban ideal berkisar 50-55% dan suhu ideal antara 18-20°C.

Serangga yang bisa merusak awetan kering harus dipantau berkala, dengan cara membersihkan kotak penyimpanan secara cermat (cara manual) ataupun dengan cara pengelolaan hama terpadu. Jebakan serangga perlu dipasang secara berkala. Stabilitas alkohol harus

diperhatikan, dan memastikan angka alkoholmeter diposisi 70-95%. Konsentrasi alkohol di bawah 70% membuat spesimen busuk.

b. Pemakai koleksi

Suhu ideal antara 18-20°C dan kelembaban ideal berkisar 50-55% baik bagi pemakai koleksi dan pengelola koleksi karena penggunaan bahan kimia anti hama tak lagi dibutuhkan. Uap kapur barus dan bahan kimia lain berbahaya bagi pernafasan. Sementara itu, dalam menggunakan koleksi basah pengelola dan pemakai hanya diperbolehkan maksimal 2 jam. Jika ingin menggunakan lagi maka hanya boleh ketika telah berada di ruang terbuka atau ruangan bebas bahan kimia selama minimal 1½ jam agar pemakai tidak mengalami gejala mabuk dan tubuh lebih tahan (Priyono *et al.*, 1999).

Lebih lanjut menurut Priyono *et al* (1999) pemakai dan pengelola sangat dilarang makan dan minum di ruang koleksi karena sisa makanan akan mendorong tumbuhnya jamur dan datangnya serangga hama, selain memungkinkan masuknya bahan kimia yang tercecer ke dalam makanan/minuman tersebut. Ruang koleksi harus bebas dari rokok karena rawan memunculkan percikan api/memicu kebakaran. Beberapa tempat juga melarang penggunaan kamera berflash atau cahaya karena dapat memudahkan warna hewan koleksi. Lebih lanjut menurut pengelola laboratorium atau ruang koleksi perlu menyusun peraturan dan pedoman pengelolaan koleksi spesimen. Pedoman tersebut menjadi acuan dan perlu diperhatikan oleh pengelola dan pemakai koleksi.

## C. Contoh Praktikum Pengamatan Hewan Tanah

Contoh praktikum ini sepenuhnya merujuk pada Hariyanto *et al* (2008) yang dalam praktiknya dapat dimodifikasi oleh instruktur, dosen, guru, ataupun praktikan sendiri. Tentu saja hal tersebut disesuaikan dengan kompetensi, indikator, ataupun tujuan praktikum yang telah ditentukan.

### 1. Distribusi Hewan Tanah

#### Pengantar

Penyebaran hewan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu acak, beraturan dan berkelompok. Penyebarannya hewan tanah di suatu bentang alam sebagian besar mengelompok, karena faktor kimia-fisika

tanah dan makanan yang tersedia tidak sama di tanah. Untuk mengetahui penyebaran suatu jenis hewan tanah di lokasi dapat dilakukan dengan mengetahui kepadatan populasi hewan tersebut di dalam tanah. Selanjutnya dapat dihitung apakah hewan tersebut hidup berkelompok atau tidak berkelompok.

Kepadatan populasi suatu jenis atau kelompok hewan tanah dapat dinyatakan dalam bentuk jumlah atau biomassa per unit contoh, atau per satuan luas, atau per satuan volume, atau per satuan penangkapan. Kepadatan populasi sangat penting untuk menghitung produktivitas, tetapi untuk membandingkan suatu komunitas dengan komunitas lainnya parameter ini tidak tepat. Untuk biasanya digunakan kepadatan relatif. Kepadatan relatif dihitung dengan membandingkan kepadatan suatu jenis dengan kepadatan semua jenis yang terdapat dalam unit contoh tersebut. Kepadatan relatif dinyatakan dalam bentuk presentase. Kepadatan populasi dan kepadatan relatif dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$D \text{ jenis X} = \frac{\text{Jumlah individu jenis X}}{\text{Jumlah unit contoh / luas / volume}} \times 100 \%$$

$$D.r. = \frac{\text{Densitas jenis X}}{\text{Jumlah D semua jenis}} \times 100 \%$$

Keterangan:

D = densitas / kepadatan

D.r = densitas relatif / kepadatan relatif

### Tujuan Umum

Dalam praktikum ini Anda akan mempelajari pola penyebaran hewan tanah di sekitar kampus.

### Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum ini adalah:

- 1) Meteran.
- 2) Patok.
- 3) Cangkul.

- 4) Cetok.
- 5) Kantong plastik.
- 6) Corong Barlese - Tullgren.
- 7) Pisau.
- 8) Tali plastik.
- 9) Timbangan.
- 10) Oven.
- 11) Botol timbang.

### Aktivitas

Buatlah kelompok yang terdiri atas 10 orang. Tentukan tempat yang akan dipilih sebagai tempat untuk penelitian di sekitar kampus, buatlah rencana penelitian untuk mempelajari pola distribusi hewan tanah. Susun permasalahan ilmiah, asumsi, dan hipotesis. Ujilah hipotesis yang Anda susun dengan penelitian ini.

### Prosedur Kerja

Kegiatan dalam acara praktikum ini, yaitu menghitung jumlah individu dalam setiap subplot dan mengidentifikasi yang didapat.

- 1) Tentukan lokasi yang Anda anggap tepat di sekitar kampus untuk plot pengambilan sampel.
- 2) Buatlah plot 100 x 100 cm, dan dibagi atas 100 subplot berukuran 10 x 10 cm.
- 3) Ambillah sampel tanah pada setiap sub-plot dengan menggunakan cetok dan pisau sedalam 5 cm.
- 4) Setiap sampel tanah yang diambil dibawa ke laboratorium.
- 5) Sampel tanah kemudian diekstraksi dengan menggunakan corong Barlese-Tullgren selama 4 hari dengan alat pemanasnya menggunakan lampu listrik berkekuatan 15 Watt.
- 6) Hitunglah jumlah hewan dan jenisnya yang didapat di setiap subplot.
- 7) Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui kepadatan populasi dari jenis-jenis hewan tanah yang terdapat dalam plot penelitian.
- 8) Setiap mahasiswa hanya menghitung satu jenis hewan tanah tertentu.
- 9) Tiap sampel tanah diukur kadar organik dan kadar air tanahnya, serat beratnya per  $\text{cm}^3$ .

10) Setiap mahasiswa melaporkan data yang didapat (Kepadatan per plot dan subplot).

Grup 1 : Membuat analisis data dan keseluruhan jenis.

Grup 2 : Membandingkan kepadatan hewan tanah dengan kadar air.

Grup 3 : Membandingkan kepadatan hewan dengan kadar bahan organik.

Grup 4 : Membandingkan kepadatan hewan dengan massa tanah.

Grup 5 : Membandingkan kepadatan hewan dengan ketiga faktor tersebut.

### **Laporan**

Laporan satu untuk setiap kelompok. Laporan disusun sesuai dengan petunjuk pembuatan laporan yang telah ditentukan instruktur. Ditulis dalam kertas HVS putih, ukuran A4, satu spasi. Kepustakaan sekurang-kurangnya berjumlah 5 judul (berupa jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan buku referensi).

## **2. Kepadatan Populasi Nematoda Parasit Tumbuhan**

### **Pengantar**

Nematoda (cacing gilig tidak bersegmen dan bertubuh silindris dengan ujung yang meruncing) merupakan filum hewan. Cacing ini ditemukan pada sebagian besar habitat akuatik, di dalam tanah lembab, di dalam jaringan tumbuhan, dan di dalam tubuh jaringan hewan. Sekitar 90.000 spesies telah diketahui, dan yang sebenarnya ada mungkin mencapai sepuluh kali jumlah tersebut. Panjang cacing gilig, berkisar antara kurang dari 1 mm hingga lebih dari 1 mm. Nematoda memiliki saluran pencernaan yang sempurna, tidak memiliki sistem sirkulasi dan nutrisi diangkut ke seluruh tubuh melalui cairan dalam pseudoselom.

Anggota Filum Nematoda banyak yang merupakan hama tanaman yang menyerang akar tumbuhan. Akibat hama tersebut terdapat gejala-gejala seperti: tanaman kerdil, tanaman tumbuh merana, klorosis. Gejala tersebut di atas mirip dengan yang disebabkan oleh gangguan organisme lain atau karena kondisi lingkungan yang tidak cocok untuk pertumbuhan tanaman tersebut. Untuk memastikan apakah keadaan tersebut disebabkan oleh nematoda kita harus mempunyai data kepadatan populasi nematoda parasit.



Untuk mengetahui kepadatan populasi nematoda parasit harus dilakukan ekstraksi. Teknik ekstraksi nematoda parasit dari tanah dan tanaman banyak macamnya, dari yang sangat sederhana sampai dengan teknik yang cukup rumit. Teknik ekstraksi yang digunakan tersebut berpengaruh langsung terhadap hasil ekstraksi, dan hasil ekstraksi ini dapat dipergunakan untuk peramalan dan studi aspek-aspek yang ditimbulkan oleh nematoda parasit pada tumbuhan.

### **Tujuan Umum**

Dalam acara praktikum ini Anda akan mempelajari pola kepadatan populasi nematoda parasit dari tanah dengan menerapkan metode modifikasi teknik saringan dan dekantansi.

### **Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum ini adalah:

- 1) 3 baskom plastik (masing-masing diberi tanda I, II, III).
- 2) 1 saringan ukuran lubang 0,5 mm (A).
- 3) 1 saringan ukuran lubang 350 mm (B).
- 4) 1 saringan ukuran lubang 175 mm (C).
- 5) 1 saringan ukuran lubang 100 mm (D).
- 6) 1 saringan ukuran lubang 50 mm (E).
- 7) 1 saringan (diameter 16 cm ) ukuran lubang 385 mm.
- 8) 4 corong Baermann dengan kain atau filter cotton wool.
- 9) Cawan ekstraksi dan gelas arloji.
- 10) 4 gelas beker 250 ml.
- 11) 1 baki dangkal.

### **Aktivitas**

Buatlah kelompok yang terdiri 10 orang. Tentukan tempat yang dipilih sebagai tempat untuk penelitian, buat rencana penelitian untuk mempelajari distribusi nematoda parasit. Susun permasalahan ilmiah, asumsi, dan hipotesis. Uji hipotesis yang Anda susun dengan penelitian ini.

### **Prosedur Kerja**

- 1) Tentukan lokasi yang Anda anggap tepat untuk pengambilan sampel. Contoh tanah adalah tanah yang memiliki kelembapan cukup.

- 2) Pada tanah bera atau area tanah yang ada tanamannya, ambil contoh tanah dan kedalaman antara 7,5 cm dan 45 cm. Pada tanaman tahunan seperti cengkeh, mangga, rambutan dan sebagainya, ambil contoh tanah dari empat penjuru akar pada jarak 60-80 cm dan batang.
- 3) Masukkan contoh tanah ke dalam wadah yang dapat mencegah kekeringan dan letakkan wadah tersebut pada tempat yang teduh dan dibawa ke laboratorium.
- 4) Sampel tanah kemudian diberi label dan disimpan di laboratorium pada suhu antara 12-32°C. Atau dapat langsung diekstraksi.
- 5) Saring tanah dengan saringan kasar yang berlubang 0,5 mm.
- 6) Aduk hasil saringan dengan teliti, kemudian masukkan ke baskom plastik I dan tambahkan 500 ml air.
- 7) Aduk suspensi tanah dan biarkan bagian-bagian tanah mengendap selama 5-10 detik. Kemudian saring lautan dengan saringan A dan tampung suspensinya dalam baskom plastik II.
- 8) Karena nematoda seperti Mermitidae dan Longidorus tidak dapat melalui saringan dengan cepat, masukkan saringan A ke dalam suspensi yang terdapat pada baskom plastik II selama 10-20 menit.
- 9) Angkat saringan A, aduk suspensinya dan saring suspensi ini dengan saringan B serta suspensinya ditampung pada baskom plastik I yang telah dibersihkan.
- 10) Cuci nematoda yang tertinggal pada saringan B dan tuang suspensinya ke gelas beker 250 ml dan baskom plastik II yang telah dibersihkan.
- 11) Lakukan pekerjaan di atas 4 kali, lalu masukkan nematoda dari setiap saringan ke dalam gelas beker 250 ml dan biarkan nematodanya mengendap di dalam dasar gelas beker tersebut.

Untuk memudahkan turunannya air melalui saringan halus, pegang saringan sedemikian rupa sehingga membentuk sudut 30° dengan garis horizontal. Pada waktu mencuci nematoda dan atassaringan ke dalam gelas beker, balikkan saringan dan aliran air dan atasnya. Setelah melakukan pekerjaan tersebut, akan terajdi dua kemungkinan. *Pertama*, ialah buang kelebihan air dan tuang suspensi dari setiap gelas beker melalui filter kain ke dalam Corong Baerman yagn telah ditutup dengan

sebuah jepitan. Setelah 24 jam, kumpulkan suspensi nematoda dengan cara membuka jepitan. *Kedua*, yaitu tuang suspensi yang berasal dari 4 saringan tersebut ke dalam saringan diameter 16 cm dengan lubang 385 mm atau *cotton filter wool*. Sebelumnya, letakkan saringan tersebut dalam piring yang berisi air. Gunakan gelas arloji untuk menyebarkan kotoran secara merata di atas filter. Setelah perlakuan, tuang suspensi saringan ke piring ekstraksi berisi 90 ml air. Setelah 24 jam, suspensi siap diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 40-50 kali.

### Laporan

Laporan satu untuk setiap kelompok. Laporan disusun sesuai dengan petunjuk pembuatan laporan yang telah ditentukan instruktur. Ditulis dalam kertas HVS putih, ukuran A4, satu spasi. Kepustakaan sekurang-kurangnya berjumlah 5 judul (berupa jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan buku referensi).

## 3. Estimasi Kepadatan Populasi Cacing Tanah

### Pengantar

Cacing tanah merupakan salah satu hewan tanah yang berperan penting dalam kesuburan tanah. Cacing berperan mencampurkan bahan organik kasar atau pun halus antara lapisan atas dan bawah. Aktivitas inilah yang menyebabkan tanah menjadi gembur dan penyebaran bahan organik yang hampir merata. Kotoran cacing kaya dengan unsur hara karena itu cacing dapat memperkaya hara pada tanah dengan kotorannya. Di samping itu cacing dengan membuat liang-liang menyebabkan aerasi tanah lebih baik.

Secara umum aktivitas cacing tanah seperti organisme tanah pada umumnya, yaitu dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain, Iklim (curah hujan, suhu, dan lain-lain), Tanah (kemasan, kelembapan, suhu, hara dan lain-lain), dan vegetasi (hutan, padang rumput, bekukar dan lain-lain). Akibat berbagai faktor tersebut maka amatlah sukar untuk menduga jumlah, macam dan aktivitas dari cacing, atau organisme tanah. Pengukuran biomassa salah satu jenis hewan tanah hanya merupakan salah satu parameter untuk mengukur aktivitas jasad dalam tanah. Dasar parameter tersebut adalah karena aktivitas metabolik berkaitan sangat erat dengan biomassa jasad hidup tersebut.

Aktivitas organisme tanah dicirikan oleh parameter seperti Jumlah dalam tanah, bobot tiap unit isi atau luas tanah, dan aktivitas metaboliknya.

Sedangkan kepadatan populasi suatu jenis atau kelompok hewan tanah dapat dinyatakan dalam bentuk jumlah atau biomassa per unit contoh, atau per satuan luas, atau per satuan volume, atau per satuan penangkapan. Kepadatan populasi sangat penting untuk menghitung produktivitas, tetapi untuk membandingkan suatu komunitas dengan komunitas lainnnta parameter ini tidak tepat. Untuk itu biasanya digunakan kepadaktan relatif. Kepadatan relatif dihitung dengan membandingkan kepadatan suatu jenis dengan kepadatan semua jenis yang terdapat dalam unit contoh tersebut. Kepadatan relatif dinyatakan dalam bentuk persentase. Kepadatan populasi dan kepadatan relatif dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$D \text{ jenis X} = \frac{\text{Jumlah individu jenis X}}{\text{Jumlah unit contoh / luas / volume}} \times 100 \%$$

$$D.r. = \frac{\text{Densitas jenis X}}{\text{Jumlah D semua jenis}} \times 100 \%$$

Keterangan:

D = densitas / kepadatan

D.r = densitas relatif / kepadatan relatif

Di Indonesia, cacing tanah sebagian besar tergolong dalam famili *Megascolecidae*, terutama dari genus *Pheretima*. Tetapi dari beberapa hasil penelitian terungkap pula bahwa cacing tanag yang luas penyebarannya di Indonesia adalah jenis *Pontoscolex corethrurus*. Cacing tanah ini tersebar luas di tanah pertanian, belukar dan padang rumput. Kepadatan populasi cacing tanah sangat bergantung pada faktor fisika-kimia tanah dan tersedianya makanan yang cukup. Pada tanah yang berbeda faktor fisika-kimianya tentu kepadatan populasi cacing tanahnya juga berbeda.

### Tujuan Umum

Dalam acara praktikum ini Anda akan mempelajari pola kepadatan pouulasi cacing tanah dengan menerapkan metodes sortir tangan.

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum adalah:

- 1) Meteran.
- 2) Patok.
- 3) Cangkul.
- 4) Cetok.
- 5) Kantong plastik.
- 6) Tali plastik.
- 7) Timbangan
- 8) Bak plastik ukuran 55 x 45 cm.
- 9) Kawat baja.
- 10) Lampu 60 watt beberapa buah.

### Aktivitas

Buatlah kelompok yang terdiri atas 10 orang. Tentukan tempat yang akan dipilih sebagai tempat untuk penelitian, buatlah rencana penelitian untuk mempelajari pola distribusi cacing tanah. Susun permasalahan ilmiah, asumsi, dan hipotesis. Uji hipotesis yang Anda susun dengan penelitian.

### Prosedur Kerja

- 1) Tentukan lokasi yang Anda anggap tepat di sekitar kampus untuk plot pengambilan sampel.
- 2) Buatlah 10 plot kuadrat 30 x 30 cm.
- 3) Ambillah sampel tanah pada setiap plot dengan menggali menggunakan cangkul dengan kedalaman 20 cm.
- 4) Setiap sampel tanah per plot dimasukkan ke dalam kantong / karung plastik dan dibawa ke laboratorium.
- 5) Sampel tanah kemudian diletakkan ke dalam lembaran plastik dan cacing tanah yang terdapat pada sampel tanah dikoleksi dengan metode sortir tangan.
- 6) Cacing tanah yang ditemukan dibedakan berdasarkan bentuk luarnya, dihitung, dan cuci dengan air sampai bersih.
- 7) Timbanglah cacing yang didapat.
- 8) Awetkan cacing tanah yang didapat tersebut dengan dimasukkan dalam wadah yang telah diisi dengan formalin 7%.

- 9) Jika memungkinkan cacing-cacing tersebut diidentifikasi untuk mengetahui jenisnya.
- 10) Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui kepadatan populasi cacing tanah yang terdapat dalam plot penelitian.
- 11) Tiap sampel tanah diukur pH tanah, kadar organik tanah dan kadar air tanahnya
- 12) Setiap kelompok mahasiswa melaporkan data yang didapat sehingga didapatkan data gabungan.

### **Laporan**

Laporan satu untuk setiap kelompok. Laporan disusun sesuai dengan petunjuk pembuatan laporan yang telah ditentukan instruktur. Ditulis dalam kertas HVS putih, ukuran A4, satu spasi. Kepustakaan sekurang-kurangnya berjumlah 5 judul (berupa jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan buku referensi).

## **4. Studi Distribusi Vertikal Collembolla**

### **Pengantar**

Menurut beberapa literatur Collembolla juga banyak hidup di bagian lapisan atas tanah, yaitu di lapisan serasah dan lapisan humus. Silahkan pelajari pembahasan tentang Collembolla pada bagian-bagian sebelumnya dari buku ini.

### **Tujuan Umum**

Dalam acara praktikum ini Anda mempelajari pola distribusi vertikal hewan tanah (Collembolla) yang ada di kebun.

### **Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum adalah:

- 1) Meteran.
- 2) Termometer tanah.
- 3) pH meter.
- 4) Cangkul.
- 5) Cetok.
- 6) Kantung plastik.

7) Corong Barbeles-Tullagren.

8) Bor tanah.

### Aktivitas

Buatlah kelompok yang terdiri atas 5-10 orang. Tentukan tempat yang akan dipilih sebagai tempat untuk penelitian, buatlah rencana penelitian untuk mempelajari pola distribusi vertikal *Collembolla*. Susun permasalahan ilmiah, asumsi, dan hipotesis. Uji hipotesis yang Anda susun dengan penelitian ini.

### Prosedur Kerja

Ada dua kegiatan utama dalam acara praktikum ini, yaitu menghitung jumlah individu dalam setiap subplot dan setiap strata dan mengidentifikasi sifat fisik-kimia tanah habitat yang diteliti. Data jumlah individu digunakan untuk mempelajari pola distribusi vertikal dan sifat fisik-kimia.

#### 1) *Sampling Collembolla*

- a) Tentukan lokasi yang Anda anggap tepat disekitar FMIPA untuk plot pengambilan sampel.
- b) Buatlah plot  $10 \times 10 \text{ m}^2$ , dan dibagi atas 20 sub plot berukuran  $1 \times 2 \text{ m}^2$ .
- c) Ambillah sampel tanah dengan menggunakan bor tanah.
- d) Setiap sampel tanah yang diambil dibagi menjadi 3 strata, yaitu 0-4 cm ; 5-8 cm; 9-12 cm.
- e) Sampel tanah kemudian disektraksi dengan menggunakan corong Barlese-Tullgren selama 4 hari dengan alat pemanasnya menggunakan lampu listrik berkekuatan 15 Watt.
- f) Hitunglah jumlah *Collembolla* yang didapat setiap lapisan (strata) dan amatilah besar dan panjang hewan tersebut.

#### 2) Sifat fisik-kimia tanah yang diukur antara lain:

- a) Suhu tanah pada setiap strata diukur menggunakan termometer tanah atau termometer air raksa.
- b) pH tanah pada setiap strata diukur menggunakan pH meter.
- c) Kadar air pada setiap strata diukur dengan menggunakan metode gravimetri, yaitu dengan mengukur langsung kehilangan berat air karena dikeringkan.

Caranya: Ambillah sampel tanah yang akan diukur kadar airnya dan masukkan ke dalam botol timbang dan timbanglah. Kemudian keringkan tanah tersebut dengan memanaskan dalam oven dengan suhu 105°C sampai beratnya konstan ( $\pm 24$  jam). Berikutnya dinginkan ke dalam desikator dan setelah dingin timbanglah. Setelah itu dapat diketahui kadar air tanah tersebut, yaitu:

$$\text{Berat air} = \text{Berat botol timbang dengan tanah basah} - \text{berat botol timbang dengan tanah kering } 105^{\circ}\text{C}.$$

Kadar air tanah berdasarkan perbandingan berat dengan berat tanah kering tanah (Y) dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering}} \times 100 \%$$

Sedangkan kadar air tanah berdasarkan perbandingan berat basah (X) adalah:

$$X = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah basah}} \times 100 \%$$

Perbandingan volume kandungan air atau *volumetric water content*, yaitu kadar air berdasarkan volume dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kandungan air (\% volume)} = \frac{V_a}{V_t} \times 100 \%$$

Kadar  $V_a$  dapat diketahui dengan mengalikikan berat air (g) dengan berat volume ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Karena berat air sama dengan satu maka volume air ( $\text{cm}^3$ ) sama dengan berat air (gr). Harga  $V_t$  dapat diketahui dengan mengambil contoh tanah utuh.

- d) Kadar organik tanah pada setiap strata.

Tanah dari setiap strata yang telah kering angin digerus dengan halus dengan mortar dan diaduk-aduk sampai rata, kemudian keringkan pada suhu 105°C sampai beratnya tetap. Ambil sebanyak 10 gram tanah tersebut dan masukkan ke dalam tungku



pembakar (*furnance muffle*) dengan suhu 400°C selama 1 jam dan setelah dingin ditimbang (beratnya misalnya B). Maka kadar organik tanahnya adalah:

$$= \frac{1,725 (0,458a - 0,4)}{B} \times 100 \%$$

dimana, a = berat tanah kering 105°C - berat setelah dibakar pada suhu 400°C (B).

### Laporan

Laporan satu untuk setiap kelompok. Laporan disusun sesuai dengan petunjuk pembuatan laporan yang telah ditentukan instruktur, ditulis dalam kertas HVS putih, ukuran A4, satu spasi. Kepustakaan sekurang-kurangnya berjumlah 5 judul (berupa jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan buku referensi).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 7**

# **KONSERVASI TANAH UNTUK MELINDUNGI HEWAN TANAH**

### **A. Definisi dan Maksud Konservasi Tanah**

**K**ekayaan jenis hewan tanah serta peran/fungsi ekosistem mengindikasikan relasi kompleks, namun pada kenyataannya masih sedikit dipelajari. Fokus aktivitas konservasi terhadap kekayaan hewan tanah pun masih cukup langka (Lavelle *et al.*, 1994). Pola pengelolaan lahan menjadi faktor utama (kunci) pada kegiatan konservasi. Perubahan penggunaan hutan menjadi daerah pertanian dan aktivitas yang lain (misalnya pemukiman) memiliki kecenderungan medegradasi keanekaragaman organisme dalam tanah (Sugiyarto, 2009). Kelimpahan hewan tanah berkorelasi positif dengan tingginya biomasa tanaman (Hooper *et al.*, 2000) dan kandungan nutrisi dalam tanah (Nahmani & Lavelle, 2002). Bahkan kelimpahan arthropoda tergantung kepada luas tutupan lahan pertanian, dikarenakan sebagian besar arthropoda sangat tergantung pada ketersediaan tanaman pangan, bukan disebabkan banyaknya spesies yang lain (Wardle *et al.*, 1999). Populasi, biomassa dan diversitas makrofauna tanah dipengaruhi oleh praktek pengelolaan lahan dan penggunaannya (Baker, 1998). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan pola lain dalam pemanfaatan lahan, sehingga sejalan dengan upaya konservasi tanah dan juga sekaligus melindungi organisme-organisme yang hidup dalam tanah.

Tanah harus diolah dengan tepat, sesuai fungsi, dan efisien agar tercipta kelestarian secara ekologi dan bisa dipergunakan dalam jangka panjang. Tanah memiliki fungsi sebagai media pertumbuhan. Mustafa *et al* (2012) menjelaskan bahwa lestari secara ekologi bermakna “kegiatan pengelolaan tanah harus mempertahankan integritas ekosistem, memelihara daya dukung lingkungan, dan konservasi sumberdaya alam termasuk kekayaan biodiversitas”.

Konservasi bermakna menggunakan sumber daya alam secara efektif, efisien, dan teratur dalam kurun waktu lama dengan cara meminimalkan

pemborosan ekonomi, sosial, dan mengoptimalkan pendapatan yang bersih. Konservasi dapat disebut pula sebagai penggunaan sumber daya alam dengan bijaksana serta memperhitungkan faktor waktu (Umar, 2009).

Konservasi tanah merupakan perpaduan dan pengembangan IPTEK pengawetan tanah sebagai unsur kunci dalam menjaga kualitas lingkungan. Konservasi tanah merupakan upaya menjaga dan atau bahkan menambah produktivitas tanah. Konservasi tanah diupayakan dengan cara memanfaatkan tanah sesuai fungsi, sesuai kemampuan, dan mempertimbangkan kaidah pengelolaan yang tidak merusak tanah (Triwanto, 2012). Konservasi tanah berorientasi pada pengoptimalan produktivitas, rehabilitasi tanah, mencegah degradasi fungsi tanah, dan terciptanya kestabilan ekosistem (Arsyad, 2000; Kasim *et al*, 2010). Sehubungan dengan itu, Syamsuddin (2012) menjelaskan bahwasifat-sifat tanah (baik fisik, kimia, maupun biologi) menjadi penentu kemampuan tanah ketika diolah sehingga terjadi keberlanjutan fungsi. Konservasi tanah bukanlah meminta pemanfaatan tanah, tetapi memanfaatkan tanah sesuai syarat dan kemampuan tanah tersebut.

Konservasi tanah dimaksudkan untuk: 1) menjaga tanah agar tidak mengalami degradasi fungsi akibat faktor alami maupun karena aktivitas manusia, 2) merehabilitasi tanah rusak sehingga fungsinya dapat kembali, 3) menjaga dan mengoptimalkan kemampuan tanah agar berfungsi secara berkesinambungan. Sailan (2013) menjelaskan bahwa konservasi tanah minimal memiliki empat maksud, yaitu 1) memanfaatkan tanah sesuai fungsi seharusnya, 2) mempertimbangkan produktivitas dengan mengindahkan syarat dan rambu-rambu pengolahan tanah yang tidak merusak, 3) merehabilitasi, menjaga, dan optimalisasi produktivitas tanah, serta 4) bercocok tanam sesuai kaidah sehingga tanah tak terdegradasi.

Konservasi dikelompokkan dalam tiga teknik, yaitu teknik vegetatif, teknik mekanik, dan teknik kimiawi. Teknik vegetatif adalah metoda pengawetan tanah dengan vegetasi alami misalnya dengan tanaman penutup tanah, selain dapat mencegah erosi, dapat juga memperbaiki struktur tanah, menambah bahan organik, mencegah proses pencucian hara, dan mengurangi fluktuasi temperatur tanah. Beberapa cara usaha konservasi tanah dan air secara vegetasi antara lain: sisa tumbuhan sebagai penutup tanah, penanaman tumbuhan penutup tanah, rotasi tanaman, *strip cropping*, penanaman tumbuhan penguat teras. Teknik mekanik adalah usaha-usaha pengawetan tanah untuk mengurangi

banyaknya tanah yang hilang di daerah lahan pertanian dengan cara-cara mekanik yang meliputi pembuatan sengkedan atau terasering pada lahan miring, pembuatan jalur aliran air (*waterways*), pembuatan corak, menanam searah kontur atau memotong arah kemiringan lereng. Sedangkan metoda kimia adalah cara yang menggunakan bahan kimia sebagai untuk memantapkan tanah (*soil conditioner*) yang bertujuan untuk memperbaiki keadaan sifat-sifat fisik tanah (Sa'adah, 2010).

Terkait dengan upaya perlindungan hewan tanah maka perlu dilakukan upaya manipulasi vegetasi. Arsyad (2000) menjelaskan bahwa manipulasi vegetasi merupakan teknik mengelola tanah dengan memanfaatkan tanaman yang berfungsi mendukung usaha konservasi tanah. Tanaman berfungsi menata ulang struktur tanah yang semula rusak serta sekaligus menghambat laju erosi dan menangkap air hujan sehingga dapat digunakan oleh tanaman dan organisme lain. Contoh penggunaan tanaman penutup dalam konservasi tanah dan air adalah tanaman tumpang sari, mulsa organik yang berasal dari tanaman dan pupuk hijau (organik).

Teknik konservasi tanah perlu mempertimbangkan berbagai kondisi di area tersebut baik kondisi ekologi, ekonomi, maupun potensi lainnya. Terdapat beberapa teknik untuk konservasi tanah, yaitu 1) Menjaga kondisi tanah agar tidak mudah hancur, tidak mudah terangkut air, dan mampu menyerap air dengan baik, 2) Melindungi dan menjaga kesuburan tanah dengan tanaman penutup atau dengan sisa tanaman agar terlindung dan menyuburkan tanah, dan 3) Mengatur aliran permukaan agar air mengalir dengan kekuatan yang tidak merusak kondisi tanah. Melalui konservasi tanah, kerusakan tanah diharapkan dapat ditekan seminimal mungkin sampai batas yang dapat ditoleransi, sehingga sumberdaya tersebut lestari bahkan bisa dapat diwariskan pada anak cucu kita kelak (Suryani, 2007).

Berbagai kajian menunjukkan bahwa pemakaian alat berat dalam pemakaian tanah dapat berdampak buruk pada kondisi tanah, khususnya kepada fisik tanah yang dapat mengalami peningkatan bobot/pemadatan. Pemadatan ini selanjutnya berpengaruh pada berbagai sifat lain, yaitu "permeabilitas, porositas, aerasi tanah, kemampuan mengikat air, dan merupakan faktor pembatas dalam pertumbuhan tanaman". Pemindahan tanah menggunakan alat berat dapat menyebabkan hilangnya bahan organik tanah.

## B. Teknik Manipulasi Vegetasi

### 1. Penghutan Kembali

Area hutan yang mengalami perubahan atau kerusakan akibat pertanian maupun kehidupan manusia seperti penebangan dan aktivitas penambangan perlu untuk direhabilitasi kembali atau umumnya dikenal dengan istilah penghutan kembali (*reforestation*). Rehabilitasi atau penghutan kembali akan mengembalikan fungsi hutan pada wilayah sebagaimana kondisi semula.

Penghutan kembali bertujuan mengembalikan fungsi ekologis area melalui penanaman jenis tumbuhan berkayu. Penghutan kembali akan meningkatkan kandungan bahan organik tanah yang bersumber dari daun dan ranting berguguran dan membusuk (serasah) sehingga kesuburan tanah kembali. Penghutan kembali umumnya diterapkan pada area kritis akibat kebakaran, longsor, pembukaan lahan untuk pertanian, dan pembalakan. Proses pengembalian status suatu area hutan tentu membutuhkan waktu relatif lama, biasanya di atas 20 tahun hingga tumbuhan tumbuh dan memiliki keukuran sediakala. Pemilihan jenis tanaman yang digunakan harus mempertimbangan beberapa faktor, yaitu adaptasi di lingkungan baru lebih mudah, berkembangbiakan cepat, akar kuat, dan penutupan daun (kanopi) lebih rapat (Subagyo *et al*, 2003).

Kegiatan penelitian terkait kondisi biofisik suatu lahan merupakan hal yang penting, sebagai dasar pertimbangan memilih jenis tanaman untuk penghutan kembali, terlebih bila itu adalah hutan dengan satu jenis tanaman (monokultur). Beberapa jenis tanaman tahunan memiliki daya serap dan penguapan yang tinggi, sehingga membutuhkan air yang banyak di lahan tersebut. Tanaman jenis *Pinus merkusii*, berdasarkan berbagai penelitian harus ditempatkan di wilayah yang bercurah hujan >2.000 mm/tahun. Sementara bila 1.500-2.000 mm/tahun boleh ditanami pinus, namun harus dicampur atau diselingi dengan jenis tanaman lain yang memiliki daya serap air dan penguapan yang tinggi, seperti *Schima wallichii* dan famili *Araucariaceae* (khususnya *Aghatispp*). Bila hujan memiliki curah kurang dari 1.500mm/tahun tidak boleh ditanami pinus karena akan merusak persediaan air tanah bahkan menimbulkan kekurangan air (Priyono & Siswamartana, 2002).

## 2. Wanatani (Agroforestry)

Indonesia umumnya memperlakukan sistem pertanian budidaya tanaman semusim hortikultura. Sistem pertanian ini banyak diterapkan oleh masyarakat (petani) dan pengelolaan lahannya berjalan dengan cukup intensif. Namun demikian, hal itu tanpa dibarengi penerapan teknologi berbasis konservasi. Apabila curah hujan tinggi, umumnya terjadi erosi, degradasi lahan, dan terancamnya habitat hewan tanah. Oleh karena itu, perlu suatu upaya untuk mengurangi masalah tersebut di antaranya dengan memilih teknologi usahatani berbasis konservasi tanah yang memadukan antara tanaman semusim, tanaman tahunan, hijauan pakan ternak, dan berbagai metode lain secara proporsional. Upaya tersebut dapat meningkatkan pendapatan petani dan sekaligus mempertahankan lahan dari kerusakan lingkungan. Sistem ini dikenal dengan istilah wanatani (*agroforestry*).

Jenis tanaman pohon yang dapat digunakan dalam sistem wanatani seperti ditunjukkan pada Tabel 7.1, Tabel 7.2, dan Tabel 7.3.

**Tabel 7.1. Jenis Tanaman Pohon Berumur Panjang**

No	Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
1	Jambu mete	<i>Anacardium occidentale</i>	SP,KB
2	Nimba	<i>Azaderachta indica</i>	KB,BB,PH,SK
3	Cemara	<i>Casuarinas equisetifolia</i>	KB,BB,SK
4	Kayu manis	<i>Cinamomum zeylanicum</i>	SP,KB,BB,PH,SK
5	Johar	<i>Cassia siamea</i>	KB,BB,SK
6	Sono keling	<i>Dabergia sisoo</i>	KB,PT,BB,SK
7	Gmelin	<i>Gmelia arborea</i>	KB,PT, SB,SK
8	Mindi	<i>Melia azaderach</i>	KB,BB,SK
9	Sono kembang	<i>Pterocapusindico</i>	BB,SK
10	Cendana	<i>Santalum album</i>	BB,SK
11	Mahoni	<i>Switenia marcophylla</i>	BB,SK
12	Jati	<i>Tectonic grandis</i>	BB,SK,KB

(Sumber: Nurhidayati *et al*, 2008)

Keterangan: SP = sumber pangan KB= kayu bakar, PT = pakan ternak, 88 = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Wanatani adalah sistem penggunaan lahan yang memadukan tanaman pangan berumur pendek dengan tanaman pohon (tahunan), semak atau rumput untuk pakan ternak, atau tanaman lain berbarengan

atau bergilir (Nurhidayati *et al*, 2008). Menurut Subagyo *et al* (2003), tanaman berumur panjang (tahunan) memiliki fungsi mengurangi energi kinetik hujan yang dapat menyebabkan erosi karena memiliki coverage daun lebih luas. Tanaman berumur pendek (semusim) juga memiliki daya perlindungan tanah dari butiran hujan pembawa energi perusak. Pemilihan tanaman akan baik bila didasarkan pada adanya manfaat tambahan untuk para petani. Penggabungan keduanya memberi keuntungan ganda. Selain menghasilkan keuntungan dengan lebih cepat dan besar, wanatani juga merupakan sistem yang tepat untuk konservasi tanah dan hewan tanah.

**Tabel 7.2. Jenis Tanaman Memiliki Sifat Tumbuh Cepat dan Multiguna**

No	Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
1	Air suli	<i>Acacia auriculliformis</i>	KB,BB
2	Mangium	<i>Acacia mangium</i>	KB,BB
3	Saga	<i>Adenanthera microsperma</i>	KB,PT,BB,PH
4	Sengon laut	<i>Albizia falcataria</i>	KB,BB,PH
5	Kaliandra merah	<i>Calliandra calothyrsus</i>	KB,PT,BB,PH
6	Kaliandra putih	<i>Calliandra tetragonal</i>	KB,PT,BB,PH
7	Johar	<i>Cassia siamea</i>	KB,BB,PH,SK
8	Flamboyant	<i>Denix regia</i>	KB,BB,PH
9	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	KB,PT,BB,PH
10	Waru	<i>Hibiscus tillaceaus</i>	KB,PT,BB,PH
11	Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	KB,PT,BB
12	Lamtoro	<i>Leucaena diversifolia</i>	KB,PT,BB,PH
13	Trembesi	<i>Samanea samara</i>	KB,PT,BS,PH,SK
14	Turi	<i>Sesbania grandiflora</i>	KB,PT,BB,PH
15	Jayanti	<i>Sesbania sesban</i>	KB,PT,BB

(Sumber: Nurhidayati *et al*, 2008)

Keterangan: KB = kayu bakar, PT = pakan ternak, BB = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Subagyo (2003) mengungkapkan bahwa pola wanatani sudah umum di masyarakat. Saat ini telah banyak dikembangkan, sehingga dikenal berbagai macam pola pertanaman, yaitu “sela, lorong, talun hutan rakyat, kebun campuran, pekarangan, tanaman pelindung, dan silvipastura”.



**Tabel 7.3 Jenis Tanaman Pohon Berumur Sedang**

No	Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Pemanfaatan
1	Jambu mete	<i>Asacardium occidentale</i>	SP,KB
2	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	SP,KB
3	Pinang	<i>Areca catechu</i>	SP,BB
4	Sukun	<i>Artocarpus communis</i>	SP,KB,BB
5	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	SP,KB,BB,SK
6	Kemiri	<i>Aleurites molluscana</i>	SP,KB,BB
7	Bambu	<i>Sambusa sp</i>	SP,BB,SK
8	Kenitu	<i>Chrysophyllum cainito</i>	SP,KB,BB
9	Kayu manis	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	SP
10	Kopi	<i>Coffea sp</i>	SP
11	Durian	<i>Durio zibethinus</i>	SP
12	Melinjo	<i>Gneturn gnemon</i>	SP,KB,PT
13	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	SP
14	Sawo	<i>Manilkara zapota</i>	SP
15	Markisa	<i>Passiflora edulis</i>	SP
16	Apokat	<i>Persea Americana</i>	SP
17	Jambu biji	<i>Psidium guajava</i>	SP,KB,SK
18	Duwet	<i>Syzgium cumini</i>	SP,KB,SK
19	Asam jaws	<i>Tamarindus indica</i>	SP,KB,PH,SK
20	Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	SP

(Sumber: Nurhidayati *et al*, 2008)

Keterangan: SP = sumber pangan KB= kayu bakar, PT = pakan ternak, BB = bahan bangunan, PH = pupuk hijau, SK = sumber kayu

Pola-pola tersebut dapat diuraikan satu persatu sebagai berikut:

### **Pertanaman Sela**

Pertanaman sela adalah pencampuran tanaman tahunan dengan tanaman semusim. Pola ini dijumpai di daerah hutan atau kebun dekat permukiman. Tanaman sela juga banyak diterapkan di pekarangan rumah tangga maupun usaha pertanian tanaman tahunan lainnya. Dari segi konservasi tanah, pertanaman sela bertujuan meningkatkan penyerapan air dan intensitas penutupan permukaan tanah terhadap terpaan hujan secara langsung sehingga menekan risiko erosi. Sebelum kanopi tanaman tahunan menutupi tanah, lahan di antara tanaman tahunan tersebut digunakan untuk tanaman semusim.

Penanaman tanaman semusim dapat dilakukan berulang kali tergantung pertumbuhan tanaman tahunan. Agar memiliki manfaat maksimal, misalnya untuk menghasilkan pupuk hijau sebaiknya dipilih jenis tanaman legume, yaitu *Leucaena leucocephala*, *Glyricidia sepium*, *Cajanus cajan*, dan *Tephrosia candida*. Jarak tanaman semusim dengan tanaman tahunan secara berkala perlu dilebarkan (karena lahan tanaman semusim akan semakin sempit). Hal ini untuk mencegah kompetisi hara, pengaruh zat allelopati dari tanaman tahunan, dan adanya kontak penyakit.

#### Pertanaman Lorong

Sistem pertanaman lorong atau *alley cropping* adalah pola berupa barisan tanaman pagar pengontrol erosi disusun rapat sesuai kontur membentuk pagar dan lorong, tanaman utama berada di tengah lorong. Pola lorong biasa dilakukan di lahan minim air, kelerengan 3-40%. Menurut Agus *et al* (1999) pola lorong akan mereduksi sekitar 5-20% lahan efektif sehingga jenis yang dipilih yang memenuhi persyaratan berikut.

- 1) Dapat mendorong masuknya nutrisi yang dibutuhkan tanaman kembali ke tanah, contohnya jenis penjerap nitrogen.
- 2) Memiliki produksi hijauan yang tinggi.
- 3) Relatif tak terpengaruh bila dipangkas dan laju pertumbuhan segera meningkat pasca pemangkasan.
- 4) Tidak mengganggu atau menyaingi komoditas budidaya dalam menyerap nutrisi, baik mimeral, udara, air, penyinaran matahari, dan ruang tumbuh kembang.
- 5) Metabolit sekunder yang dihasilkan tidak bersifat allelopat (racun) bagi komoditas budidaya.
- 6) Memiliki kegunaan lain, contohnya sebagai sumber hijauan, buah, kayu, maupun lainnya agar masyarakat mudah menggunakannya sebagai tanaman pagar.

Menurut Nurhidayati *et al* (2008) banyak penelitian menyimpulkan bahwa budidaya lorong dapat dikembangkan sebagai suatu sistem pertanian berkelanjutan. Beberapa pertimbangan penting atau gatra penting budidaya lorong adalah,

- 1) Mencegah terjadinya kerusakan tanah akibat erosi permukaan (gatra konservasi).

- 2) Mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah karena adanya kesinambungan bahan organik dan hewan tanah (gatra kesuburan).
- 3) Tanaman pagar (legum) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hijau, makanan ternak, sayuran, pematah angin, penghasil buah, dan penyediaan kayu bakar (gatra multiguna tanaman pagar).
- 4) Meningkatkan produktivitas tanah.

### **Talun Hutan Rakyat**

Talun merupakan lahan di luar area pemukiman. Lahan tersebut ditanami berbagai jenis tanaman tahunan yang dapat memberikan hasil panen berupa kayu atau buah. Pola ini tak perlu dirawat secara intensif, biasanya dibiarkan hingga masa panen. Tanaman dapat tumbuh dengan sendirinya, akibatnya umumnya jarak tanaman tak teratur, jenis bermacam-macam, serta kondisi lahan secara umum mirip hutan yang alami. Jika dilihat dari sisi konservasi tanah, pola ini memiliki kanopis yang relatif lebih rapat sehingga lebih maksimal dalam menghambat erosi dan memiliki fungsi umum sebagaimana layaknya hutan alami.

### **Kebun Campuran**

Kebun campuran lebih banyak dirawat, hal ini yang membedakan dengan talun hutan rakyat. Jenis yang ditanam memiliki manfaat ganda seperti pada pertanaman lorong. Terkadang pula yang dibudidayakan adalah tanaman semusim. Berdasarkan hal tersebut dikenal istilah "tegalan", yaitu jika di lahan tersebut lebih banyak ditumbuhi tanaman semusim daripada yang tahunan. Sistem kebun campuran ini dapat menahan pengikisan tanah akibat hujan dan derasnya *run off*, karena adanya tanaman yang menutup/melindungi permukaan tanah secara rapat.

Pertanaman campuran memiliki komposisi beraneka ragam tergantung kemauan petani. Pertanaman campuran merupakan sistem pertanaman tradisional yang sering dilakukan petani. Sistem ini umum dikenal dengan tumpangsari atau tumpang gilir, dapat diterapkan pada lahan sawah atau lahan kering. Pertanaman campuran awalnya hanya diterapkan untuk tanaman semusim saja, tetapi dalam perkembangannya dikombinasikan juga dengan tanaman keras atau pohon.

Menurut Nurhidayati *et al* (2008) beberapa keuntungan dari sistem pertanaman campuran ini, yaitu:

- 1) Lebih Produktif. Luas lahan yang dikelola sama, namun pertanaman campuran memiliki produktivitas lahan persatuan luas lebih besar dari pertanaman tunggal, jika ditinjau dari hasil panen per satuan luas. Perbedaan ini disebabkan salah satu atau kombinasi dari berbagai faktor, yaitu pertumbuhan lebih baik, pertumbuhan gulma terhambat, HPT ditekan, lebih efisien dalam memanfaatkan air, sinar, dan hara yang tersedia.
- 2) Minim Risiko. Apabila beberapa jenis tanaman ditanam bersamaan, maka kegagalan salah satu tanaman dapat dikompensasi oleh tanaman yang lain sehingga risiko kegagalan panen dapat ditekan seminimal mungkin.
- 3) Penyangga Lingkungan. Pertanaman campuran yang memanfaatkan tanaman keras dan rerumputan dapat menekan erosi karena penutupan lebih baik, pemanfaatan ruang tumbuh lebih baik untuk perakaran dan pertumbuhan kanopi, daur hara dan air berjalan baik sehingga dapat menyangga kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, misalnya kekeringan, serangan hama, dan penyakit.
- 4) Menjamin bahan organik. Bagi hewan tanah sistem ini sangat baik karena menghasilkan banyak serasah atau bahan organik yang dibutuhkan.

### **Tanaman Pelindung atau Multistrata**

Tanaman pelindung merupakan tanaman sekunder disela-sela tanaman utama. Tanaman pelindung berfungsi mengurangi radiasi matahari yang terlalu besar dan sekaligus menghambat laju erosi yang dapat merusak tanaman utama ketika masih berupa bibit (tanaman muda). Tanaman pelindung dapat dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu:

- 1) Sejenis, membentuk sistem sederhana atau “*simple agroforestry*”. Tanaman utama misalnya *Gliricidia sepium*, *Erythrina subumbrans*, *Leucaena leucocephala*, maupun *Cinnamomum burmanii*.
- 2) Beraneka ragam, membentuk sistem kompleks atau “*complex agroforestry*” dan dikenal pula dengan multistrata, misalnya satu tanaman utama (misalnya kopi) dengan berbagai tanaman pelindung. Contoh tanaman pelindung tersebut, yaitu *Aleurites muluccana*, *Pithecellobium jiringa*, *Perkia speciosa*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina subumbrans*, *Leucaena leucocephala*, maupun *Cinnamomum*

*burmanii*, *Durio zibethinus*, *Persea americana*, *Artocarpus heterophyllus*, dan *Artocarpus integer*.

Pola ini mirip hutan karena aneka ragam tanaman itu memiliki tajuk tanaman yang bertingkat. Tajuk tersebut juga mengurasi erosi karena energi air yang menyentuh permukaan tanah sangat kecil. Serasah yang dihasilkan cukup banyak sehingga memberi manfaat lain bagi konservasi tanah.

### **Silvipastura**

Pola silvipastura merupakan bentuk lain pola tumpang sari. Pada pola ini, tanaman di antara tanaman tahunan adalah penghasil pakan ternak (dari kelompok rumput), bukan tanaman penghasil. Silvipastura banyak diterapkan di wilayah dekat peternakan sapi, kerbau kambing, dan domba). Kotoran ternak dapat dimanfaatkan untuk pupuk, sedangkan hijauan untuk makanan ternak.

### **Pagar Hidup**

Pola penanaman menggunakan jenis-jenis tanaman tertentu untuk membatasi atau memagari tanaman utama dari sekelilingnya sehingga lebih terlindungi disebut pola pagar hidup. Pola ini juga menahan laju pengikisan tanah. Pemilihan tanaman pagar perlu mempertimbangkan beberapa kriteria, yaitu berakar kuat, akan menembus kedalaman tanah serta memberi manfaat ganda bagi masyarakat, sebagaimana layaknya pertanaman lorng, kebun campuran, silvipastura, dan pola lainnya.

### **Intensifikasi Pekarangan dan *Urban Farming***

Pekarangan adalah lahan di sekitar tempat tinggal, ditanami tanaman semusim maupun tahunan. Pekarangan memiliki nilai tambahan bagi keluarga petani, bahkan dapat dikatakan sebagai indikasi kearifan masyarakat maupun keluarga memaksimalkan fungsi dan kebermanfaatan tanah yang tersedia. Banyak komoditas yang dapat dibudidayakan di pekarangan, misalnya umbi-umbian, aneka jenis sayuran, penghasil buah, tanaman obat, dan tanaman lain yang umumnya bersifat subsisten.

Pekarangan kebanyakan adalah wanatani tradisional yang tetap bertahan sesuai kultur masyarakat dan kondisi ekosistem setempat. Intensifikasi secara konvensional sangat tergantung pada *input* dari luar, yaitu benih, pupuk kimia, pestisida, dan kebutuhan lainnya. Keberhasilan

intensifikasi pekarangan secara konvensional sangat tergantung pada penyediaan *input* dari luar usaha tani, yaitu pada penyiapan petak, pengolahan tanah, daur hara, pengaturan kesuburan tanah, keanekaragaman tanaman, dan keseimbangan ekosistem secara terpadu (Nurhidayati *et al*, 2008). Intensifikasi pekarangan secara alami mendorong daur bahan organik dalam bentuk kompos atau bentuk lain, termasuk mengurangi penggunaan pestisida sintesis. Keanekaragaman jenis tanaman mampu mengendalikan serangan hama dan penyakit tanaman. Petani dapat pula membuaa formula organik menggunakan bahan-bahan yang telah tersedia di pekarangan, termasuk toga, pestisida hayati, dan lain-lain.

Menurut Nurhidayati *et al* (2008) keberhasilan penggunaan pekarangan untuk mempertahankan produktivitas dapat dilihat dari hal-hal, yaitu.

- 1) Menstabilkan hasil tanaman berkelanjutan.
- 2) Menjamin pasokan energi dari sumber alam misalnya kayu bakar.
- 3) Menyediakan aneka bahan yang dapat dikonsumsi sendiri atau dijual sehingga menambah penghasilan keluarga.
- 4) Perlindungan dan sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan, terutama air, flora, dan fauna (termasuk hewan tanah).
- 5) Meningkatkan kualitas sosial, ekonomi, dan kesehatan petani.

Daerah-daerah pemukiman dengan lahan terbatas sangat dianjurkan untuk memanfaatkan pekarangan yang ada, salah satunya melalui metode *urban farming*. *Urban farming* didefinisikan sebagai pertanian di dalam atau di pinggiran wilayah pemukiman atau kota. Secara teknis, *urban farming* merupakan kegiatan pertanian dengan memaksimalkan peruntukan lahan pekarangan, lahan kosong atau lahan tidur, lahan kritis tak terpakai, kebun sekitar rumah, ruang terbuka hijau, dan bahkan area vertikal di sekeliling rumah (tembok dan atap). *Urban farming* atau bila di Indonesiakan menjadi pertanian perkotaan merupakan suatu bentuk transformasi kegiatan pertanian didorong semakin berkurangnya lahan pertanian. Upaya transformasi kegiatan pertanian untuk pemenuhan kebutuhan pangan ini disebabkan ketersediaan pangan akan menjadi faktor pembatas suatu kehidupan serta kestabilan suatu wilayah, terutama disebabkan semakin meningkatnya kegiatan pembangunan serta bertambahnya jumlah penduduk (Samudra *et al*, 2013).

*Urban farming* memanfaatkan area atau ruang terbuka yang sebelumnya tidak digunakan sehingga tidak produktif seperti lahan kosong, lahan sisa, dan sebagainya menjadi lahan perkebunan produktif, menjadi kegiatan alternatif masyarakat kota untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas ruang terbuka hijau. Hal utama yang mendorong munculnya aktivitas ini adalah upaya berkontribusi pada ketahanan pangan, menambah penghasilan masyarakat sekitar, menyehatkan lingkungan, dan sekaligus sarana rekreasi dan penyaluran hobi. *Urban farming* juga mendukung pelestarian keanekaragaman hayati, termasuk hewan dan hewan tanah, di wilayah pemukiman dan perkotaan. Selain itu, memberikan kontribusi penyelamatan lingkungan dengan pengelolaan sampah serta membantu menciptakan kota yang bersih, sehat, dan meningkatkan estetika kota/pemukiman.

### 3. Tanaman Penutup Tanah (*Cover Crop*)

Tanaman *cover crop* rendah yang sering digunakan contohnya famili Leguminosae atau *Puerarias pp*, *cover crop* sedang contohnya famili Asteraceae, dan *cover crop* tinggi contohnya famili Fabaceae. Tanaman *cover crop* memiliki banyak kegunaan, yaitu menghasilkan serasah sebagai sumber bahan organik yang selanjutnya terdekomposisi menjadi hara, melestarikan hewan tanah, dan menghambat erosi, sehingga kesuburan tanah stabil. Adapun teknik penanaman tanaman *cover crop* dilakukan dengan menyebar ke seluruh area, menggunakan strip yang membelah lereng dan strip tersebut diisi komoditas budidaya utama, atau dengan teknik tumpang sari. Bibit yang ditanam bisa berupa stek maupun menanam biji.

Menurut Mustafa *et al* (2012) keuntungan *cover crop*, yaitu a) Tanaman yang tumbuh akan menekan rumput secara bertahap sehingga rumput tidak dapat berfotosintesis dan akan mati, b) Jenis tanaman *cover crop* berfungsi konservasi selain menekan rumput atau gulma, c) Jenis tanaman *cover crop* bersama sisa rumput yang tertekan menjadi sumber bahan organik bagi hewan tanah yang selanjutnya menyuplai hara tanah secara berkelanjutan sampai tanaman pokok yang diusahakan kembali menaungi tanaman *cover crop*, d) Jenis tanaman *cover crop* dapat mempertahankan ataupun lebih memperbaiki iklim mikro tanah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman pokok, e) Dengan semakin baiknya kondisi iklim mikro tanah dan semakin

besarnya kontribusi bahan organik berarti dapat menjaga keseimbangan kelangsungan hidup hewan tanah dan mikroorganisme tanah, dan f) Kontribusi bahan organik tanaman penutup tanah dapat memperbaiki sifat biologis, fisik, dan kimia tanah.

#### 4. Penanaman Rumput

Jenis rumput yang dapat digunakan untuk konservasi vegetatif adalah *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* spp, dan *Paspalum notatum*. Rumput harus dipangkas secara teratur tiap 1-1½ bulan untuk mencegah adanya hama pengelat. Pola ini bermanfaat menguatkan guludan, tebing, dan galengan. Dapat pula sebagai sumber makanan hewan dan menjadi sumber makanan hewan tanah.

#### 5. Penanaman Menurut Kontur

Sistem pertanian yang mirip dengan budidaya lorong adalah pertanian sejajar kontur tetapi dalam prakteknya lebih banyak dilaksanakan di lahan miring, bertujuan mencegah terjadinya erosi. Penerapannya bisa dilengkapi dengan pembuatan saluran kontur, saluran pengendali aliran, perangkap sedimen, cekdam, dan bangunan konservasi lainnya (Nuhidayati *et al*, 2008). Pola kontur dapat digabungkan dengan mulsa. Pola kontur mengurangi *run off* dan mencegah hilangnya hara tanah akibat *run off* tersebut.

Pola pertanian ini merupakan salah satu model SALT (*Sloping Agriculture Land Technology*), yaitu mengubah lahan miring yang tak produktif menjadi lebih produktif. Teknik ini memberikan peluang pada petani untuk meningkatkan kesuburan tanah, konservasi tanah dan air, menekan pertumbuhan hama dan penyakit, serta menekan ketergantungan pada *input* dari luar usaha tani. Teknologi SALT mendukung petani untuk meningkatkan pendapatan melalui tanaman semusim atau tanaman keras.

#### 6. Penanaman Sistem Strip atau Jalur

Pola strip membagi lajur tanaman utama dengan lajur tanaman hijauan. Lajur rumput terletak diantara galengan. Pola strip dapat diaplikasikan pada lahan dengan lereng <5%. Apabila lereng semakin curam, maka strip perlu dipersempit tanaman selang-seling rapat. Pola tersebut diyakini lebih efektif menghambat erosi sampai 70-75%. Tanaman



jenis legum berfungsi menata kembali sifat tanah, meskipun area penanaman untuk tanaman utama berkurang (dapat sampai  $\pm 30-50\%$ ). Pola ini dapat dilakukan pada lahan berbukit dan pegunungan. Pola ini juga dapat dipadukan dengan pola lain.

Penanaman sistem strip juga dapat dilakukan pada daerah tepi sungai, dikenal dengan istilah strip penyangga riparian. Menurut Syamsuddin (2012) strip penyangga riparian adalah penanaman tumbuhan berupa pepohonan, rerumputan, dan semak-semak atau campuran berbagai bentuk dan jenis vegetasi sepanjang tepi kiri dan kanan sungai. Fungsinya antara lain, a) Sungai tidak terganggu oleh aktivitas yang berkembang di sekitarnya, b) Kegiatan pemanfaatan dan upaya peningkatan nilai manfaat sumber daya yang ada di sungai dapat memberikan hasil secara optimal sekaligus menjaga fungsi sungai, c) Memperkaya keanekaragaman hewan dan tumbuhan di sekitar sungai, termasuk hewan tanah, dan d) Daya rusak air terhadap sungai dan lingkungannya dapat dibatasi.

## **7. Pergiliran Tanaman dan Pola Tanam**

Pergiliran atau rotasi tanaman adalah penanaman jenis tanaman pada suatu bidang tanah secara berganti-ganti menurut waktu. Penanaman monokultur dalam jangka panjang mempercepat laju erosi tanah, menurunnya kesuburan tanah (miskin hara), serta pergiliran serta pertumbuhan hama berlangsung cepat. Adanya pergiliran tanaman akan menghambat dan memotong siklus hama.

Pergiliran tanaman disesuaikan dengan daya dukung lingkungan dan kondisi sumberdaya manusia sehingga menjadi sebuah pola tanam yang berfungsi memaksimalkan perlindungan terhadap permukaan tanah secara fisik dan kandungan kimia. Umumnya, petani Indonesia secara turun-temurun memiliki pengetahuan atau kearifan bagaimana pola tanam yang baik dan berkelanjutan, baik waktu, jenis, jumlah, dan pengelolaannya.

## **8. Mulsa**

Mulsa adalah berbagai macam bahan seperti sisa tanaman, jerami, serbuk gergaji, daun, susunan batu, lembaran plastik tipis dan sebagainya, yang dihamparkan di permukaan tanah. Setiap bahan yang dipakai pada permukaan tanah untuk menghindari kehilangan air

melalui penguapan atau untuk menekan pertumbuhan gulma dapat dianggap sebagai mulsa. Penggunaan sisa tanaman sebagai mulsa penutup tanah akan menghambat kecepatan aliran permukaan (*run off*) karena dapat mengurangi tekanan gesekan dan kapasitas pengaliran air di permukaan tanah. Mulsa dapat menghindari fluktuasi suhu dan kadar air permukaan tanah. Mulsa menyebabkan bahan organik terpelihara, bahkan dalam jangka panjang dapat ditingkatkan. Penguapan air tanah dapat diperkecil sehingga kelembaban terjaga (Sa'adah, 2010).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa miskinnya tanaman penutup mengurangi populasi hewan tanah pada lahan padi yang belum ditanami. Vegetasi yang ditemukan di pekarangan dan hutan jati mampu melindungi permukaan tanah dari sinar matahari langsung sehingga memelihara kelembaban tanah. Kondisi ini kiranya menyediakan habitat yang nyaman bagi hewan tanah. Jadi tanaman penutup lahan berpengaruh penting untuk memelihara kelembaban tanah dan habitat organisme tanah (Widyastuti, 2004).

Mulsa memberikan simulasi pengaruh penutup tanah. Mulsa dapat digunakan sebagai penutup tanah atau dapat dicampur dengan tanah. Mulsa lebih efektif dalam melindungi tanah dari dampak langsung butiran air hujan. Namun, jika mulsa dicampur dengan tanah, mulsa akan terurai cepat dan membantu untuk membuat tanah lebih subur (Citra kusumah, 2010).

Menurut Suripin (2002) penggunaan mulsa dapat meningkatkan kemantapan struktur tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, dan dapat mengendalikan tanaman pengganggu. Melalui metode pemulsaan, serasah yang membusuk akan meningkatkan aktivitas hewan tanah dan menyebabkan terbentuknya pori-pori makro dalam tanah yang mendukung perbaikan tata air dalam tanah.

## 9. Barisan Sisa Tanaman

Sistem barisan sisa tanaman (*trash line*) pada dasarnya sama dengan sistem strip. Sistem ini adalah teknik konservasi tanah yang bersifat sementara dimana gulma, rumput, dan sisa tanaman yang disiangi ditumpuk berbaris, sedangkan untuk daerah berlereng biasanya ditumpuk mengikuti garis kontur. Penumpukan selain dapat mengurangi erosi dan menahan laju aliran permukaan juga bisa berfungsi sebagai mulsa. Ketersediaan bahan sisa tanaman harus cukup banyak sehingga

penumpukannya membentuk struktur yang lebih kuat. Sisa tanaman tersebut lemah dalam menahan gaya erosi air dan akan cepat terdekomposisi sehingga mudah hanyut. Penggunaan kayu-kayu pancang diperlukan untuk memperkuat barisan sisa tanaman. Sistem ini cukup bagus untuk mempertahankan ketersediaan hara melalui dekomposisi bahan organik dan melindungi tanah dari bahaya erosi sampai umur tanaman <5 bulan.

#### 10. Penyiangan Parsial

Penyiangan parsial diterapkan dengan perlakuan penyiangan sebagian. Penyiangan dilakukan tetapi tetap meninggalkan pertumbuhan rumput dan tumbuhan penutup (biasanya berukuran di bawah 35cm), menyebabkan batang tanaman utama bebas dari tumbuhan pengganggu. Tumbuhan penutup yang masih dibiarkan memiliki peran penghambat laju pengikisan tanah akibat *run off* dan menahan bahan organik yang terbawa air. Teknik ini mirip strip rumput. Tumbuhan yang telah disiangi tetap diletakkan di area pertanaman, membentuk tumpukan, berjejer membentuk barisan.

### C. Pertanian Organik

Teknik manipulasi vegetasi untuk konservasi tanah sejatinya termasuk dalam sistem pertanian organik, akan tetapi mengingat jenisnya yang bermacam-macam maka uraiannya dibuat tersendiri. Bagian ini akan lebih banyak menguraikan tentang pertanian organik sebagai wujud implementasi bentuk pertanian lestari, umum disebut *Low External Input Sustainable Agriculture* serta *Low Input Sustainable Agriculture* (LEISA dan LISA), yaitu sistem pertanian bertujuan meminimalkan penggunaan *input* (benih, pupuk kimia sintesis, dan pestisida sintesis) dari luar ekosistem.

Tingkat pencemaran dan kerusakan di kawasan pertanian dapat disebabkan penggunaan pupuk dan pestisida sintesis yang berlebihan dan tidak proporsional. Dampak negatif penggunaan aneka bahan kimia sintesis antara lain berupa pencemaran air, tanah, dan hasil pertanian, serta dampak lain berupa gangguan kesehatan dan penurunan keanekaragaman hayati. Penggunaan pestisida sintesis yang berlebih dalam kurun waktu yang panjang, dapat berdampak pada kehidupan dan keberadaan musuh alami hama dan penyakit, dan juga berdampak pada kehidupan hewan tanah. Hama dan penyakit akan kebal sehingga

justro menyebabkan terjadinya ledakan hama penyakit dan degradasi hewan tanah. Penggunaan pupuk sintesis konsentrasi tinggi dalam kurun waktu yang panjang menyebabkan terjadinya kemerosotan kesuburan tanah karena terjadi ketimpangan hara, hilangnya organisme tanah dan merosotnya kandungan bahan organik tanah.

Menurut Sihotang (2009) penanaman varietas padi unggul secara monokultur tanpa adanya pergiliran tanaman akan mempercepat terjadinya pengurasan hara sejenis dalam jumlah tinggi dalam kurun waktu yang pendek. Apabila dibiarkan terus-menerus tidak menutup kemungkinan terjadi defisiensi atau kekurangan unsur hara tertentu dalam tanah. Sistem pertanian dapat menjadi *sustainable* (berkelanjutan) jika kandungan bahan organik tanah lebih dari 2%. Keberadaan bahan organik tanah selain memberikan unsur hara tanaman yang lengkap juga memperbaiki struktur tanah, sehingga tanah akan semakin remah.

Menurut Nurhidayati *et al* (2008) keberlanjutan suatu sistem pertanian akan tercapai apabila kita membudidayakan tanaman dan hewan dengan memperhatikan tiga tujuan sekaligus, yaitu 1) keuntungan ekonomi, 2) keuntungan sosial untuk petani dan masyarakat sekitarnya, dan 3) konservasi lingkungan (mantap secara ekologi). Pertanian berkelanjutan ditentukan oleh kesehatan tanah dan semua organisme secara lestari. Dengan demikian, pertanian berkelanjutan menitikberatkan solusi holistik, mempertimbangkan semua komponen, dan bervisi ke depan.

Mantap secara ekologis adalah ketika daya dukung lingkungan lestari serta daya dukung sistem pertanian secara menyeluruh dari semua makhluk hidup termasuk organisme tanah ditingkatkan. Hal tersebut dapat tercapai bila pengelolaan tanah dilakukan dengan baik dan kesehatan tumbuhan, hewan, serta manusia dipertahankan melalui proses biologis. Pemakaian bahan lokal menyebabkan penyusutan mineral, biomassa, dan energi dapat ditekan serendah mungkin. Titik perhatiannya yaitu pemakaian sumberdaya yang bersifat *reversible*.

Pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat diaplikasikan salah satunya dengan menerapkan pertanian organik. Menurut Sihotang (2009) pertanian organik adalah sistem manajemen produksi terpadu yang menghindari penggunaan pupuk sintesis, pestisida dan hasil rekayasa genetik, menekan pencemaran udara, tanah, dan air. Di sisi lain, pertanian organik meningkatkan kesehatan dan produktivitas di antara tumbuhan,

hewan dan manusia. Penggunaan *input* yang menyebabkan degradasi sumber daya alam tidak dapat dikategorikan sebagai pertanian organik.

Budidaya tanaman dengan sistem pertanian organik ini pada dasarnya adalah menghindari segala pemakaian bahan kimia sintesis terhadap tanah maupun tanaman. Penerapan sistem pertanian organik ini adalah 1) Penggunaan bahan alami untuk kesuburan tanah dan 2) tidak menggunakan bahan kimia sintesis dalam budidaya. Adapun ciri-ciri pertanian organik, yaitu 1) Menyuarakan aspek lingkungan (ekologi), sosial, dan ekonomi berkesinambungan, 2) Aspek alamiah dan kondisi lingkungan sekitar merupakan sumber penunjang produksi yang utama, 3) Mengurangi penggunaan bahan penunjang dari luar, 4) Rotasi tanaman, 5) Sistem budidaya secara tumpang sari atau polikultur, 6) Pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) secara biologis, 7) Varietas tanaman resisten, 8) Tidak menggunakan zat kimia sintesis, 9) Mencegah erosi dan pengelolaan air, dan 10) Daur ulang nutrisi atau unsur hara dari dalam tanah.

Pertanian organik memiliki tempat strategis dan penting dalam kajian ekologi. Pertanian organik menjadikan siklus ekologi sebagai perhatian dan pertimbangan utama. Budidaya pertanian organik perlu memperhatikan pola kestabilan alam. Pola ini bersifat umum namun penerapannya spesifik-lokal. Pengelolaan organik harus disesuaikan dengan kondisi ekologi, budaya, dan skala lokal. Materi *input* dari luar perlu direduksi melalui pola pemanfaatan ulang, membuat siklus pemanfaatan, dan penggunaan materi dengan tepat sehingga dapat merawat, meningkatkan kualitas, dan melindungi sumber daya alam. Lingkungan yang seimbang akan tercipta melalui implementasi pertanian organik bentuk pertanian yang tepat, membangun habitat, dan pemeliharaan keragaman genetika. Prinsip pertanian organik adalah memberi dukungan kelestarian lingkungan secara menyeluruh, termasuk tanah, iklim, habitat dan makhluk yang menempatnya, keragaman hayati, udara dan air (IFOAM, 2005).

Rosenow *et al* (1996) menyatakan bahwa pertanian organik memperhatikan kesuburan tanah sebagai dasar kapasitas produksi dan sifat alami tanaman, hewan, biofisik, dan lanskap, sehingga mampu mengoptimalkan kualitas semua faktor-faktor yang saling terintegrasi atau tergantung. Pertanian organik menggunakan daur ulang limbah-limbah organik secara alami tanpa *input* kimia. Tingkat persediaan optimal

bahan-bahan organik tersebut dibutuhkan untuk mencapai siklus nutrisi unsur hara dalam tanah. Oleh karena itu, pertanian organik bisa dikatakan sebagai basis untuk keseimbangan ekologi secara alami. Pertanian organik tidak hanya mementingkan produk akhir yang organik tetapi semua proses secara holistik dalam sistem usaha tani, mulai dari proses persiapan lahan hingga panen.

Pertanian organik senantiasa memperhatikan pentingnya keberadaan hewan penghuni tanah. Penelitian menunjukkan bahwa dalam 100 m<sup>2</sup> tanah terdapat cacing ±900 kg, 2400 kg fungi, 1500 kg bakteri, 133 kg protozoa, 890 kg antropoda dan ganggang, dan juga mamalia kecil. Hewan yang telah mati juga menjadi komponen penyusun bahan organik. Humus adalah bentuk akhir proses penguraian, yang bersifat relatif stabil. Hara tanah bersumber dari humus, juga menjadi pembentuk bentuk tanah serta aneka keuntungan lain (Nurhidayati *et al*, 2009).

Lebih lanjut Nurhidayati *et al* (2009) menjelaskan bahwa tanah yang terpolakan dengan baik mendorong keberlanjutan pertanian, nutrisi tanah terjamin dan hewan tanah melimpah dan beranekaragam. Hewan tanah melimpah di lapisan tanah yang sehat. Tiap-tiap individu mempunyai peranan tertentu. Hewan tanah itu bermanfaat dalam mengatur siklus hara tanah melalui bahan organik yang mereka makan sehingga tanah yang dikelola petani akan produktif. Dengan demikian, adanya keanekaragaman organisme mendukung kesuburan tanah, kehidupan hewan tanah dan berbagai mikroorganisme sehingga perlu mendapat perhatian khusus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adesina, G. O., Akinyemiju, O. A., & Ola, O. T. (2012). Assessment of frequency, density and abundance of weed species in different cropping systems. *Journal of Natural Sciences Research*, 2(9), 107-119.
- Adianto, (1993). *Biologi pertanian: Pupuk kandang, pupuk organik nabati, dan Insektisida*. Edisi ke-2. Bandung: Alumni.
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of Methods*, 2<sup>nd</sup> ed. Wallingford. UK: CAB International.
- Affuwa. (2007). *Jaringan pada Hewan*. Retrieved from <http://affuwa.wordpress.com/2007/06/16/jaringan-pada-tumbuhan/>.
- Anderson, J. M. (1994). *Functional attributes of biodiversity in landuse system: Dalam D.J. Greenland and I. Szabolcs (Eds)*. Oxon: Soil Resiliense and Sustainable Land Use, CAB International.
- Agus, F., Abdurachman, A., Rachman, A. Tala'ohu, S.H. Dariah, A., Prawiradiputra, B. R., Hafif, B., & Wiganda, S. (1999). Teknik konservasi tanah dan air. Jakarta: Sekretariat Tim Pengendali Bantuan Penghijauan dan Reboisasi Pusat.
- Agus, F., Gintings, A. N. & van Noordwijk, M. (2002). *Pilihan teknologi agroforestri/konservasi tanah untuk areal pertanian berbasis kopi di Sumberjaya, Lampung Barat*. Bogor: ICRAF.
- Anwar, E. K., Kabar, P., & Subowo. (2006). Pemanfaatan cacing tanah *Pheretima hupiensis* untuk meningkatkan produksi tanaman jagung. *Jurnal Penelitian Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Islam Sumatera Utara*, 25(1), 42-51.
- Anwar, E. K. (2007). Pengambilan contoh untuk penelitian fauna tanah. *Dalam Saraswati, R., Husen, E., & Simanungkalit, R. D. M. (Eds)*. *Metode analisis biologi tanah*. Jakarta: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Petanian, Departemen Pertanian.

- Ardhana, I. P. G. (2012). *Ekologi tumbuhan*. Denpasar: Udayana University Press.
- Ariani, D. (2009). *Komposisi komunitas makrofauna tanah untuk memantau kualitas tanah secara biologis pada areal perkebunan PTPN II Sampali Kecamatan Percut Sei Tuan* (Skripsi tidak diterbitkan). Medan: FMIPA USU.
- Arief, A. (2001). *Hutan dan kehutanan*. Jakarta: Kanisius.
- Arsyad, S. (2000). *Konservasi tanah dan air*. Bogor: IPB Press.
- Avelina, D. E. M. (2008). *Pengukuran laju dekomposisi serasah menggunakan metode "litterbag" pada tiga tipe penggunaan lahan di Desa Situdaun, Kecamatan Tenjolaya* (Skripsi tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Baker, G. H. (1998). Recognising and responding to the influence of agriculture and other land use practices on soil fauna in Australia. *App. Soil Ecol.* 9, 303-310.
- Barnes, B. V., Donald R. Z., Shirley R. D., & Stephen H. S. (1997). *Forest ecology*. 4<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Begon, M., Harper, T. L. & Townsend, C. R. (1986). *Ecology: Individuals populations and communities*. Blacwell: Oxford University Press.
- Bio Intelligence Service (BIS), Europe Commision. (2010). *Soil biodiversity: Functions, threats and toolsfor policy makers*. Technical Reports 2010. Retrieved from: [http://www.biois.com/soilbiodiversity/231\\_html](http://www.biois.com/soilbiodiversity/231_html).
- Borrer, D. J., Tiplehorn, C. A. & Johnson, N. F. (1989). *Pengenalan pelajaran serangga*. Terjemahan Soetiyono Partosoedjono. 1996. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Breure, A. M. (2004). *Soil biodiversity: Measurements, Indicators, threats and soil functions*. León Spain. Retrieved from: [http://www.intl'conf/soil\\_compost\\_ecobiology\\_2004/breure/paper\\_oral](http://www.intl'conf/soil_compost_ecobiology_2004/breure/paper_oral).
- Brussaard, L. (1998). Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Appl. Soil Ecol.* 9: 123-136.
- Buckman, H.O. & N.C. Brady, (1982). *Ilmu tanah*. Terjemahan Soegiman. 1982. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Cappenberg, H. A. W. (2011). Kelimpahan dan keragaman megabentos di perairan Teluk Ambon. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 37(2), 277-294.



- Citrakusumah, R. W. (2010). Pengaruh penggunaan mulsa jagung terhadap sifat fisik dan biologi tanah serta produksi jagung pada tanah latosol Cimanggu Bogor. Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Coleman, D. C., Cossley Jr. D. A., & Hendrix, P. F. (2004). *Fundamental of soil ecology*. 2<sup>nd</sup> edition. London: Elsevier Academic Press.
- Cox, D.W. (1971). *Pioneers of ecology*. Maplewood, N.J.: Hammond.
- Damayanti, D. (2011). *Peningkatan populasi dan keragaman faunatanah melalui pengelolaan hayati tanah pada budidaya system of rice intensification (S.R.I.) di Kecamatan Cibungbulang, Kabupaten Bogor* (Skripsi tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Darwati. (2007). *Keragaman dan kelimpahan mesofauna tanah pada beberapa tipe penggunaan lahan di daerah gunung bawang* (Tesis Tidak Dipublikasikan). Yogyakarta: Pascasarjana UGM.
- Deshmukh, I. (1992). *Ekologi dan biologi tropika*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Dharmawan, A., Ibrohim, Tuarita, H., Suwono, H., & Susanto, P. (2005). *Ekologi hewan*. Malang: UM Press.
- Djajakirana, G. (2002). *Dampak kebakaran hutan terhadap kualitas tanah mineral dan gambut*. Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *In Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F. & Stewart, B. A. (Eds). SSSA Spec. Pub. No. 35. Soil Sci. Soc. Am., Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Doran, J. W & Zeiss, M. R. (2000) Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Aplied Soil Ecology*, 15, 3-11. Retrieved from [www.Elsevier.com/locate/apsoil](http://www.Elsevier.com/locate/apsoil).
- Duwiri, Y. (2010). *Struktur komunitas lamun (seagrass) di perairan Pantai Kampung Isenebuai dan Yariari Distrik Rumberpon Kabupaten Teluk Wondama* (Skripsi tidak diterbitkan). Manokwari: FMIPA UNIPA.
- Erniwati. (2008). Hewan tanah pada stratifikasi lapisan tanah bekas penambangan emas Jampang, Sukabumi Selatan. *Zoo Indonesia*, 17(2), 83-91.
- Erniyani, K., Wahyuni, S. & Pu'u, Y. M. S. W. (2010). Struktur komunitas mesofauna tanah perombak bahan organik pada vegetasi kopi dan kakao. *Agrica*, 3(1), 1-8.

- Fachrul, M. F. (2012). *Metode sampling bioekologi*. Edisi 1 Cetakan III. Jakarta: Bumi Aksara.
- Fadila, K., Houria, D., Rachid, R. & Reda, D. M. (2009). Cellular response of a pollution bioindicator model (*Ramalina farinacea*) following treatment with fertilizer (NPKs). *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*, 1(2), 69-73.
- Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M. N., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.*, 6, 3-16.
- Gobat, J. M., Aragno, M. & Matthey, W. (2004). *The living soil: Fundamental of soil science and soil biology*. New Hampshire: Science Publishers
- Hagvar, S. (1998). The relevance of the Rio-convention on biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Appl. Soil Ecol.* 9, 1-7.
- Hanafiah, K.A., Anas, I., Napoleon, A. & Ghoffar, N. (2003). *Biologi tanah: Ekologi dan makrobiologi tanah*. Divisi Buku Perguruan Tinggi. PTRaja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hanafiah, K. A. (2005). *Dasar-dasar ilmu tanah*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Ilmu tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hariyanto, S., Irawan, B., & Soedarti, T. (2008). *Teori dan praktik ekologi*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Hastuti, R. D. & Ginting, R. C. B. (2007). Enumerasi bakteri, cendawan, dan aktinomisetes. Dalam Saraswati, R., Husen, E. & Simanungkalit, R. D. M. (Eds). 2007. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Heddy, S. (1986). *Pengantar ekologi*. Jakarta: CV Rajawali.
- Hermawan, T. T. & Subeno. (2005). *Modul elisa: Dasar-dasar keanekaragaman hayati*. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Uiversitas Gadjah Mada.
- Hidayat, A. & Makarim, A. K. (1992). *Pengambilan dan persiapan contoh tanah dan tanaman*. *Bulletin Teknik No. 4*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Penelitian Tanaman Pangan.
- Hole, F. D. (1981). Effect of animal on soil. *Geoderma*, 25, 75-112.

- Hooper, D. U., Bignell, D. E., Brown, V. K., Brussard, L., Dangerfield, J. M., Wall, D. H., Wardle, D. A., Coleman, D. C., Giller, K. E., Lavelle, P., Van Der Putten, W. H., De Ruiter, P. C., Rusek, J., Silver, W. L., Tiedje, J. M. & Wolters, V. (2000). Interaction between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystem; Patterns, mechanisms and feedback. *Bioscience*, 50 (12), 1049-1061.
- Hordkinson, I. D. & Jackson, J. K. (2005). Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental Management*, 35(5), 649–666.
- Husamah. (2014). *Struktur komunitas Collembola tanah pada tipe habitat hutan, pertanian, dan pemukiman sepanjang daerah aliran Sungai Brantas Hulu Kota Batu sebagai bahan pengembangan buku pengayaan di perguruan tinggi* (Tesis tidak diterbitkan). Malang: Pascasarjana UM.
- Husamah. (2015). Kualitas tanah agroekosistem apel Kota Batu Jawa Timur berdasarkan bioindikator struktur komunitas Collembola. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 1(2), 141-155.
- Husamah, Rohman, F., & Sutomo, H. (2016). Struktur komunitas Collembola tanah pada tipe habitat hutan, pertanian, dan pemukiman sepanjang daerah aliran Sungai Brantas Hulu Kota Batu. *Bioedukasi*, 9(1), 45-50.
- Husamah & Pantiwati, Y. (2014). Cooperative learning STAD-PjBL: Motivation, thinking skills, and learning outcomes in biology students. *International Journal of Education Learning and Development*, 2(1), 68-85.
- Husamah, Rohman, F., & Sutomo, H. (2015). Pengaruh C-Organik dan kadar air tanah terhadap jumlah jenis dan jumlah individu Collembola sepanjang daerah aliran Sungai Brantas Kota Batu. *Prosiding Symbion 2015*.
- Ibrahim, H., Hudha, A. M. & Rahardjanto, A. (2014). *Keanekaragaman mesofauna tanah daerah pertanian apel Desa Tulungrejo Kecamatan Bumiaji Kota Batu sebagai bioindikator kesuburan tanah*. Prosiding Seminar Nasional XI Pendidikan Biologi FKIP UNS.
- IFOAM. (2005). *Principles of organic agriculture*. Bonn, Germany: International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM).

- Indahwati, R., Hendrarto, B. & Izzati, M. (2012). *Keanekaragaman arthropoda tanah di lahan apel Desa Tulungrejo Kecamatan Bumiaji Kota Batu*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang, 11 September.
- Indriyanto. (2008). *Ekologi hutan*. Cetakan Kedua. Jakarta: Bumi Aksara.
- Irwan, Z. D. (1992). *Prinsip-prinsip ekologi dan organisasi: Ekosistem, komunitas dan lingkungan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Iswaran, V. (1980). *A laboratory for agriculture analysis*. Today and Tomorrow's Printers and Publishers.
- James, S. (2005). *ELAETAO: Taxonomy days*. 2<sup>nd</sup> Latin-American Meeting on Oligochaeta Ecology and Taxonomy. 14-18 November, 2005.
- Johnson, D. L., Ambrose, S. H., Basset, T. J., Bowen, M. L., Crummey, D. E., Isaacson, J. S., Johnson, D. N., Lamb, P., Sul, M. & Winter-Nelson, A. E. (1997). Meaning of environmental terms. *J. Environ. Qual.*, 26, 581-589.
- Kabar, P. (1985). *Pengaruh pemberian pupuk NPK dan urea terhadap populasi mesofauna tanah*. (Skripsi tidak diterbitkan). Bandung: Departemen Biologi, ITB.
- Kabar, P., Anwar, E. A. & Santosa, E. (2007). Analisis kelimpahan arthropoda tanah: collembola dan acarina. Dalam R. Saraswati, E. Husen, & R. D. M. Simanungkalit (Eds). *Metode Analisis Biologi Tanah*. Jakarta: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian & Pengembangan Petanian, Departemen Pertanian.
- Karmana, I. W. (2010). Analisis keanekaragaman epifauna dengan metode koleksipitfall trap di kawasan hutan Cangar Malang. *Ganeç Swara*, 4(1), 1-5.
- Kasim, H., Mantau, Z., Tamburian, J. & Turang, A. (2010). *Teknologi konservasi tanah dan air di sentra produksi hortikultura Rurukan Kota Tomohon*. Makalah disajikan pada Seminar Regional Inovasi Teknologi Pertanian, mendukung Program Pembangunan Pertanian Propinsi Sulawesi Utara.
- Khairia, W. (2009). *Dampak penggunaan pestisida terhadap keanekaragaman arthropoda tanah dan kadar residu pestisida pada buah jeruk (kasus petani hortikultura di Kabupaten Karo)*. (Tesis tidak diterbitkan). Medan: Sekolah Pascasarjana USU.

- Kohli, R. K., Batish, D. R. & Singh, H. P. (2007). *Population and community ecology*. Chandigarh: Centre for Environment and Vocational Studies, Panjab University.
- Kohnke, H. & Bertrand, A. R. (1959). *Soil conservation*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Kramadibrata, H. (1996). *Ekologi hewan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Krantz, G. W. (1978). *A manual of acarology*, 2<sup>nd</sup> ed. Corvales, Oregon: Oregon State University Book Stores.
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Columbia: Harper Collins Publishers- University of British Columbia.
- Krebs, C.J. (2001). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. New York. Harper and Row Pub.
- Kripa, P. K., Prasanth, K. M., Sreejesh, K. K. & Thomas, T. P. (2013). Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of stream water quality-A case study in Koratty, Kerala, India. *Research Journal of Recent Sciences*, 2 (ISC-2012), 217-222.
- Kuniyoshi, L.S. & Braga, E. S. (2010). *Cytogenetic disruption in fishes as bioindicator of the environmental quality in two estuarine systems under different exposition to anthropogenic influences*. Makalah dipresentasikan pada Safety, Health and Environment World Congress, São Paulo, Brazil, 25-28 Juli.
- Lavelle, P., Dangerfield, M., Fargoso, C., Eschenbremer, V., Lopez-Haernandez, D., Pashanashi, B. & Brussaard, L. (1994). The relationship between soil macrohewan and tropical soil fertility. Dalam Woomer, P. L. and M. Swift (eds.) *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Lavelle, P. & Spain, A. V. (2001). *Soil ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Leksono, A. S. (2007). *Ekologi pendekatan deskriptif dan kuantitatif*. Malang: Bayumedia.
- Leksono, A. S. (2011). *Keanekaragaman hayati*. Malang: UB Press.
- Lesmana, H., Kembarawati, Aunurafik. (2010). Abundance, diversity and diminution of macrophyte at Lake Teluk. *Journal of Tropical Fisheries*, 5(1), 463-469.

- Lisnawati, Y. Suprijo, H. Poedjirahajoe, E. & Musyafa. (2014). Hubungan kedekatan ekologis antara fauna tanah dengan karakteristik tanahgambut yang di drainase untuk HTI *Acacia crassicarpa*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2), 170-178.
- Ludwig, J. A. & Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: A Primer on methods and computing*. New York: John Wiley & Sons.
- Ma'shum, M., Soedarsono, J. & L. N. Susilowati. (2003). *Biologi tanah*. CPIU Pasca IAEUP Bagpro Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Maftuah, E. & Susanti, M. A. (2009). Komunitas cacing tanah pada beberapa penggunaan lahan gambut di Kalimantan Tengah. *Berita Biologi*, 9(4). Kalimantan Tengah: Balai Pertanian Lahan Rawa.
- Magdoff, F. (2002) Concept, componen and strategies of soil health in agroecosystems. *Journal of Nematology*, 33(4), 169-172.
- McGeoch, M.A. van Rensburg, B.J. & Botes, A. (2002). The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles insavanna ecosystem. *J Appl Ecol*, 39, 661-672.
- McNaughton, S. J. & Wolf, L. L. (1998). *Ekologi umum*. Edisi Kedua Cetakan Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mehra, N. (2009). *Community characterstics*. Alipur Delhi: Swami Shraddhanand College Website, University of Delhi.
- Michael, P. E. (1994). *Metode ekologi untuk penyelidikan ladang dan laboratorium*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mustafa, M., Ahmad, A., Ansar, M. & Syafiuddin, M. (2012). *Dasar-dasar ilmu tanah (Buku Ajar)*. Makassar: Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin.
- Nahmani, J., & Lavelle, P. (2002), Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 38, 297-300.
- Gupta, V. V. S. R. & G. W. Yeates. (1997). Soil microfauna as bioindicators of soil health. In C. Pankhurst, B.M. Doube and V.V.S.R. Gupta (eds). *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International. UK.201-233

- Noordwijk, M. & Hairiah, K. (2006). Intensifikasi pertanian, biodiversitas tanah dan fungsi agro-ekosistem. *Agrivita*, 28(3), 1-13.
- Nurhidayati, Pujiwati, I., Solichah, A., Djuhari & Basit, A. (2008). *Pertanian organik: Suatu kajian sistem pertanian terpadu dan berkelanjutan (e-book)*. Malang: Fakultas Pertanian UNISMA.
- Nuril, H., B. Paul Naiola, E. Sambas, F. Syarif, M. Sudiana, J.S. Rahajoe, Suciati, T. Juhaeti & Y. Suhardjono. (1999). *Perubahan bioekofisik lahan bekas penambangan emas di Jampang dan metoda pendekatannya untuk upaya reklamasi*. Laporan Teknik Proyek Penelitian, Pengembangan dan Pendayagunaan Potensi Wilayah, tahun 1998/1999. Puslitbang Biologi LIPI.
- Odum, E. P. (1998). *Dasar-dasar ekologi*. Yogyakarta: GMU Press.
- Pankhurst, C. E. (1994). *Biological indicators of soil health and sustainable productivity*. In: Greenland DJ, Szabolcs I (Eds). *Soil Resiliense and Sustainable Land Use*. CAB International. Oxford.
- Paoletti, M. G., Pimentel, D., Stinner, B. R. & Stinner, D. (1992). Agroecosystem biodiversity: Matching production and conservation biology. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 40, 3-23.
- Parmelee, R. W., Beare, M. H., Cheng, W., Hendrix, P. F. Rider, S. J. Crossley Jr., D. A. & Coleman, D. C. (1990). Earthworm and Enchytraeids in conventional and no-tillage agroecosystems: A Biocide approach to asses their role in organic matter breakdown. *Biol. Fertil. Soils*, 10, 1-10.
- Partoyo. (2005). Analisis indeks kualitas tanah pertanian di lahan pasir Pantai Samas Yogyakarta. *Ilmu Pertanian*, 12(2), 140 – 151.
- Pary, C. (2010). *Keanekaragaman dan kepadatan kepiting bakau (Scylla spp) pada kawasan hutan mangrove Teluk Kotania Kabupaten Seram Bagian Barat sebagai bahan pengembangan materi praktikum ekologi di perguruan tinggi*. (Tesis tidak diterbitkan). Malang: PPs UM.
- Poerwowidodo. (1992). *Metode selidik tanah*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Polunin, N. (1990). *Pengantar geografi tumbuhan dan beberapa ilmu serumpun*. Terjemahan oleh Gembong Tjitrosoepomo. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Pratiwi, Y. (2010). Penentuan tingkat pencemaran limbah industri tekstil berdasarkan nutrition value coefficient bioindikator. *Jurnal Teknologi*, 3(2), 129-137.

- Pribadi, T. (2009). *Keanekaragaman komunitas rayap pada tipe penggunaan lahan yang berbeda sebagai bioindikator kualitas lingkungan* (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Prijono, S. N., Koestoto & Suhardjono, Y. R. (1999). *Kebijakan koleksi*. Dalam Suhardjono, Y. R (Ed). Buku pegangan pengelolaan koleksi spesimen zoologi. Bogor: Balitbang Zoologi, Puslitbang Biologi-LIPI.
- Priyono, B. & Abdullah, M. (2013). Keanekaragaman jenis kupu-kupu di Taman Kehati UNNES. *Biosaintifika*, 5(2), 76-81.
- Purnomo, H. (2007). *Petunjuk praktikum pengetahuan lingkungan*. Semarang: FMIPA IKIP PGRI Semarang.
- Purnomo, H. (2010). *Pengantar pengendalian hayati*. Yogyakarta: ANDI.
- Pusat Tumbuhan Karantina. (2009). *Pedoman pembuatan dan pengelolaan koleksi penyakit tumbuhan*. Jakarta: Badan Karantina Tumbuhan.
- Qudratullah, H., Setyawati, T. R., & Yanti, A. H. (2013). Keanekaragaman cacing tanah (*Oligochaeta*) pada tiga tipe habitat di Kecamatan Pontianak Kota. *Protobiont*, 2(2), 56-62.
- Rahardjanto, A., Husamah, Nurwidodo & Sukarsono. (2013). *Modul ekologi tumbuhan*. Malang: Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM-Program Induksi PJJ DITTENDIK DIKTI.
- Rahayu, S. E. & Basukriadi, A. (2012). Kelimpahan dan keanekaragaman spesies kupu-kupu (Lepidoptera; Rhopalocera) pada berbagai tipe habitat di Hutan Kota Muhammad Sabki Kota Jambi. *Biospecies*, 5(2), 40-48.
- Rahmawaty. (2000). *Keanekaragaman serangga tanah dan perannya pada komunitas Rhizophora sp. dan komunitas Ceriops tagal di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai, Sulawesi Tenggara*. (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Rahmawaty. (2004). *Studi keanekaragaman mesofauna tanah di kawasan Hutan Wisata Alam Sibolangit*. Laporan Penelitian. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Ramlan. (2011). Kajian kelimpahan dan keanekaragaman artropoda pada pertanaman kedelai. *Suara Perlindungan Tanaman*, 1(3), 35-42.
- Rani, C. (2003). Metode pengukuran dan analisis pola spasial (dispersi) organisme bentik. *Protein*, 19, 1351-1368.



- Resosoedarmo, R.S.; Kartawinata, K. & Sugiarto, A. (1993). *Pengantar ekologi*. Cetakan Kesembilan. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Retmonando & Hestiana, Y. (2011). *Makalah kajian tentang ekologi tumbuhan dan ekologi hewan*. Palembang: Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMP.
- Riyanto. (2007). Kepadatan, pola distribusi dan peranan semut pada tanaman di sekitar lingkungan tempat tinggal. *Jurnal Penelitian Sains*, 10 (2), 241-253.
- Rohman, I. F., Rahardjanto, A. & Budiyo, M. A. K. (2014). *Struktur komunitas serangga tanah pada ekosistem pertanian daerah aliran sungai (DAS) Brantas Hulu Desa Sumberejo Kecamatan Batu Kota Batu*. Prosiding Seminar Nasional XI Pendidikan Biologi FKIP UNS.
- Rohyani, I. M. (2012). *Pemodelan spasial kelimpahan collembola tanah pada area revegetasi tambang PT Newmont Nusa Tenggara*. (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Rosenow, Soltysiak, & Verschuur. (1996). *Organic farming, sustainable agriculture put into practice*. Jerman: IFOAM.
- Sa'adah, N. (2010). *Populasi dan keragaman hewan tanah pada areal pertanian padi gogo dengan teknologi peresapan biopori di kebun percobaan Cikabayan IPB*. (Skripsi tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Sailan. (2013). *Metode vegetatif dalam konservasi tanah*. Makalah. Bengkulu Tengah: KJF BP4K Kabupaten Bengkulu Tengah.
- Samudra, F. B., Izzati, M. & Purnaweni, H. (2013). *Kelimpahan dan keanekaragaman arthropoda tanah di lahan sayuran organik "urban farming"*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan tahun 2013.
- Santosa, E. (2007). Analisis kelimpahan dan keragaman hewan tanah. Dalam R. Saraswati, E. Husen, & R. D. M. Simanungkalit (Eds). *Metode Analisis Biologi Tanah*. Jakarta: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Sarifuddin. (2004). *Mikrobia sebagai indikator kesehatan tanah*. Makalah Pribadi Falsafah Sains (PPS 702), Sekolah Pasca Sarjana/S3, Institut Pertanian Bogor.

- Sarjan, M., Yulistiono, H. & Haryanto, H. (2010). Abundance and composition of fruit flies species on dry land of West Lombok Distric. *Crop Agro*, 3(2), 108-117.
- Satino. (2011). *Handout ekologi*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Sazali, M. (2015). Identifikasi fauna tanah pada areal pasca penambangan tanah urugan sebagai reklamasi lahan pertanian di Desa Lendang Nangka Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Biota*, 7(2), 117-128.
- Schowalter, T. D. (1996). *Insect ecology: An ecosystem approach*. San Diego: Academic Press.
- Schulze, E.D., Beck, E., & Müller-Hohenstein, K. (2005). *Plant ecology*. Berlin: Springer.
- Schwert, D. P. (1990). Oligochaeta: Lumbricidae. Dalam Daniel L. Dindal. *Soil Biology Guide*. New York: A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons.
- Setiawan, D. (2008). *Struktur komunitas makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas lingkungan perairan Hilir Sungai Musi*. (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Setyono, P. & Soetarto, E. S. (2008). Biomonitoring degradasi ekosistem akibat limbah CPO di muara Sungai Mentaya Kalimantan Tengah dengan metode elektromorf isozim esterase. *Biodiversitas*, 9(3), 232-236.
- Sihotang, B. (2009). *Pembangunan pertanian berkelanjutan dengan pertanian organik*. Bandung: Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jawa Barat.
- Sinamo, V. H. (2010). *Keanekaragaman arthropoda pada perkebunan kopi rakyat di Kabupaten Pakpak Bharat*. (Tesis tidak diterbitkan). Medan: FMIPA USU.
- Siswati. (2001). *Biodiversitas makrobiota tanah di berbagai tipe penggunaan lahan pada andisol Pasir Sarongge*. (Skripsi tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Siwi, S. S., Subyanto, & Sulthoni, A. (1993). *Kunci determinasi serangga*. Yogyakarta: Kanisius.
- Smith, T. M. & Smith, R. L. (2006). *Element of ecology*. Sixth Edition. San Francisco: Pearson Education INC.
- Soegianto, A. (1994). *Ekologi kuantitatif*. Surabaya: Usaha Nasional.

- Subagiada, K. (2011). Penentuan kadar timbal (Pb) dengan Bioindikator rambut pada pekerja SPBU di Kota Samarinda. *Mulawarman Scientifie*, 10(2), 151-162.
- Subagyono, K., Marwanto, S. & Kurnia, U. (2003). *Teknik konservasi tanah secara vegetatif*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Sugiyarto. (2000). Keanekaragaman Makrofauna Tanah pada Berbagai Umur Tegakan Sengondi RPH Jatirejo, Kabupaten Kediri. *Biodiversitas*, 1(2), 47-53.
- Sugiyarto. (2009). *Konservasi makrofauna tanah dalam sistem agroforestri*. Naskah Publikasi. Surakarta: FMIPA UNS.
- Suhara. (2009). *Ordo coleoptera familia carabidae dan cincidelidae*. Bandung: FMIPA UPI.
- Suhardjono, Y. R. (2006). Status taksonomi fauna di Indonesia dengan tinjauan khusus pada Collembola. *Zoo Indonesia*, 15(2), 67-86.
- Suhardjono, Y. R. & Adisoemarto. (1997). *Arthropoda tanah: Artinya bagi tanah*. Makalah dipresentasikan pada Kongres dan Simposium Entomologi V, Bandung 24-26 Juni.
- Suhardjono, Y. R. (2012). *Potensi dan pemanfaatan fauna tanah untuk keseimbangan tanah perkebunan karet di Sumatera*. Laporan Penelitian Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa. Cibinong: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Suhardjono, Y. R., Deharveng, L. & Bedos, A. (2012). *Collembola (ekorpegas)*. Bogor: Vegamedia.
- Suheriyanto, D. (2008). *Ekologi serangga*. Malang: UIN-Malang Press.
- Suheriyanto, D. (2012). Keanekaragaman fauna tanah di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru sebagai bioindikator tanah bersulfur tinggi. *Saintis*, 2(1), 29-38.
- Suin, N. M. (2012). *Ekologi hewan tanah. Cetakan IV*. Jakarta: Bumi Aksara & Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati ITB.
- Sukarsono. (2012a). *Pengantar ekologi hewan: Konsep, perilaku, psikologi dan komunikasi*. Malang: UMM Press.
- Sukarsono. (2012b). *Petunjuk praktikum ekologi hewan*. Malang: Laboratorium Biologi UMM.
- Sukarsono. (2013). *Petunjuk praktikum ekologi hewan*. Malang: Lab. Biologi UMM.

- Sukarsono, Rahardjanto, A., & Husamah. (2017). *Rencana pembelajaran semester mata kuliah ekologi*. Dokumen KPT. Malang: Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM.
- Sunanto, A. (2010). *Distribusi bentuk C-Organik tanah pada vegetasi yang berbeda*. (Skripsi Tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Supriatna, J. (2013). *Belajar dari kegagalan pemahaman dan penanaman konsep keanekaragaman hayati*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Pengembangan Budaya Ilmiah Melalui Penyadaran Sains, Kerjasama Komisi Ilmu Pengtahuan Dasar-AIPI dengan Universitas Negeri Malang, Malang, 9 Februari.
- Suputa. (2013). *Entomologi dasar*. Retrieved from <http://elisa.ugm.ac.id/community/show/entomologi-dasar/#!/section/1077/1487754317>.
- Suripin. (2002). *Pelestarian sumber daya tanah dan air*. Yogyakarta: ANDI.
- Suryani, A. (2007). *Perbaikan tanah media tanaman jeruk dengan berbagai bahan organik dalam bentuk kompos*(Tesis Tidak diterbitkan). Bogor: Program Pascasarjana IPB.
- Sutedjo, M. M. A. G. Kartasapoetra, R. D. & Sastroadmodjo, S. (1996). *Mikrobiologi tanah*. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Suwarno, Fuadi, S. & Mahmud, A. H. (2013). *Keragaman dan kelimpahan kupu-kupu pasca tsunami di kawasan sungai Sarah, Aceh Besar*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Semirata FMIPA Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2013.
- Suwondo. (2002). *Komposisi dan keanekaragaman mikroorthropoda tanah sebagai bioindikator karakteristik biologi pada tanah gambut*. Pekanbaru: FKIP Universitas Riau.
- Suyud & Subagja. (2001). *Ekologi*. Jakarta: Pusat Penerbitan Universitas Terbuka.
- Swift, M.J. & Bignell, D. (2000). *Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice*. Alternatives to Slash and Burn Project.
- Syamsuddin. (2012). *Fisika tanah*. Makassar: FMIPA UNHAS.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi terapan*. Yogyakarta: University Gadjah Mada Press.
- Trimurti, S. (2010). Beberapa Kelompok fauna tanah yang tertangkap pada seresah dan dalam tanah di zona koleksi hutan alam kebun raya Unmul Samarinda. *Scientifie*, 9(1), 107-110.

- Triwanto, J. (2012). *Konservasi lahan hutan dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Malang: UMM Press.
- Valon, M., Valbona, A., Sula, E., Fahri, G., Dhurata, K. & Fatmir, C. (2013). Histopathologic biomarker of fish liver as good bioindicator of water pollution in Sitnica River, Kosovo. *Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary*, 13(5), 1-5.
- Wallwork, J. A. (1970). *Ecology of soil animal*. London: Mc.Graw Hill Book Company.
- Wardle, D. A., Bonner, K. I., Barker, G. M., Yeates, G. W., Nicholson, K. S., Bardgett, R. D., Watson, R. N. & Ghani, A. (1999). Plant removals in perennial grassland: Vegetation dynamics, decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs*, 69(4), 535–568.
- Weissman, L. Fraiber, M. Shine, L. Garty, J. and Hochman, A. (2006). Responses of antioxidants in the lichen ramalina lacera may serve as a warning nearly bioindication systems for detection of water pollution stress. *Fems. Microbiol. Ecol.* 58, 41-53.
- Wibowo, S. (2000). *Keragaman dan populasi cacing tanah pada lahan dengan berbagai masukan bahan organik di daerah Lampung Utara* (Tesis tidak diterbitkan). Bogor: Fakultas Pertanian PPS IPB.
- Widhiastuti, R. *et al.* (2006). *Ekologi tumbuhan*. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU.
- Widyastuti, R. (2004). Abundance, biomass and diversity of soil fauna at different ecosystems in Jakenan, Pati, Central Java. *Tanah & Lingkungan*, 6 (1).
- Widyati, E. (2013). Pentingnya keragaman fungsional organisme tanah terhadap produktivitas lahan. *Tekno Hutan Tanaman*, 6(1), 29-37.
- Wijayanti, Y. E. (2011). *Struktur dan komposisi komunitas tumbuhan lantai hutan di kawasan cagar alam Ulolanang Kecubung Kecamatan Subah Kabupaten Batang* (Skripsi tidak diterbitkan). Semarang: FMIPA IKIP PGRI Semarang.
- Wild. A. (1993). *Soils and the environment*. New York: Cambridge University Press.
- Winarni, N. L. (2005). *Analisa sederhana dalam ekologi hidupan liar*. Makalah disajikan pada Pelatihan Survey Biodiversitas, Way Canguk, 2005.

- Winkler, D. & Tóth, V. (2012). Effects of afforestation with pines on Collembola diversity in the Limestone hills of Szárhalom (West Hungary). *Acta Silv. Lign. Hung.*, 8 (2012), 9–20.
- Yaherwandi. (2010). *Struktur komunitas hymenoptera parasitoid pada ekosistem sayuran dan vegetasi non-crop di Sumatera Barat*. Naskah publikasi penelitian. Padang: FP Universitas Andalas.
- Yosii, R. (1966). Check list of Collembolan species reported from Indonesia. *Treubia*, 27, 45 -52.
- Yulipriyanto, H. (2010). *Biologi tanah dan strategi pengolahannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Zhelyazkova, I. (2012). Honeybees-Bioindicators for environmental quality. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18(3), 435-442.
- Zoer'aini, D.I. (2003). *Prinsip-prinsip ekologi dan organisasi*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Zulkifli, H. & Setiawan, D. (2011). Struktur komunitas makrozoobentos di perairan sungai Musi kawasan Pulokerto sebagai instrumen biomonitoring. *Jurnal Natur Indonesia*, 14 (1), 95-99.

## GLOSARIUM

**Anecic:** hewan yang hidup pada permukaan tanah atau terkadang juga terdapat pada tanah yang lebih dangkal.

**Autekologi:** kajian atau penelitian tentang jenis, yaitu mengenai aspek-aspek ekologi dari individu-individu atau populasi suatu jenis hewan tanah.

**Bahan organik:** bagian dari tanah yang merupakan suatu sistem kompleks dan dinamis, yang bersumber dari sisa tanaman dan atau binatang yang terdapat di dalam tanah yang terus menerus mengalami perubahan bentuk, karena dipengaruhi oleh faktor biologi, fisika, dan kimia.

**Daerah Aliran Sungai (DAS):** wilayah dengan batas pemisah topografi, baik punggung bukit maupun lapisan kedap, yang menerima, menyimpan, menampung dan mengalirkan semua air yang jatuh di atasnya (hujan) dalam suatu aliran sungai baik berupa air permukaan, air bawah permukaan maupun air tanah dalam, dari hulu menuju muara sungai melalui tempat-tempat tertentu ke laut lepas

**Ekologi:** ilmu yang mempelajari seluruh pola hubungan timbal balik antar makhluk hidup dan juga antara makhluk hidup dengan lingkungannya.

**Ekologi hewan tanah:** ilmu yang membicarakan tentang spektrum hubungan timbal balik yang terdapat antara hewan tanah dengan lingkungannya serta antara kelompok-kelompok hewan tanah.

**Endogeic:** hewan yang hidup pada lapisan tanah yang lebih dalam.

**Epigeic:** epigeon; hewan yang hidup pada serasah dan lapisan tanah yang lebih dangkal atau di permukaan tanah.

**Erosi:** peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami.

**Euedafon:** hewan yang hidup pada tanah lapisan mineral.

**Fiksasi:** tindakan merendam suatu bahan (spesimen) kedalam cairan tertentu yang bertujuan untuk mencegah terjadinya proses autolisis yaitu larutnya sel yang diakibatkan oleh proses-proses yang dipengaruhi enzim dari dalam sel itu sendiri, mencegah proses pembusukan yaitu proses penghancuran jaringan yang diakibatkan oleh aktifitas bakteri, dan mencegah kerusakan struktur jaringan.

**Fisika tanah:** Ilmu yang mempelajari sifat-sifat fisis tanah seperti tekstur tanah, struktur, konsistensi, kandungan dan gerakan air di dalam tanah, serta suhu tanah, dan lain-lain.

**Habitat:** tempat suatu spesies atau jenis tinggal dan berkembang.

**Hemiedafon:** hewan yang hidup pada lapisan organik tanah.

**Heterotrof:** makhluk hidup di luar tumbuh-tumbuhan dan bakteri yang hidupnya tergantung dari tersedianya makhluk hidup produsen.

**Horison tanah:** lapisan-lapisan tanah yang terbentuk karena hasil dari proses pembentukan tanah.

**Kadar air (*water content*):** perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

**Kelembaban tanah:** air yang ditahan pada ruang di antara partikel tanah.

**Klasifikasi tanah:** suatu pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya.

**Komunitas:** kelompok organisme yang terdiri atas sejumlah jenis yang berbeda, yang secara bersama-sama menempati habitat atau area yang sama dan waktu secara bersamaan serta terjadi interaksi melalui hubungan trofik dan spasial.

**Konservasi tanah:** penempatan tiap bidang tanah pada cara penggunaan jangka pendek dan jangka panjang yang sesuai dengan kemampuan tanah dan memperlakukannya sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan agar tidak terjadi kerusakan tanah.



**Lereng:** permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal.

**Longsor:** pergerakan masa tanah atau batuan sepanjang bidang gelincir atau suatu permukaan bidang geser.

**Makrofauna:** kelompok binatang yang berukuran panjang tubuh >10,5 mm, seperti: Insekta, Crustaceae, Chilopoda, Diplopoda, Mollusca, dan vertebrata kecil (mengacu pada Suhardjono & Adisoemarto, 1997).

**Makrohabitat:** ciri khas dengan skala yang luas seperti zona asosiasi vegetasi yang biasanya disamakan dengan level pertama seleksi habitat.

**Mesofauna:** kelompok yang berukuran tubuh 0.16-10.4 mm dan merupakan kelompok terbesar dibanding kedua kelompok lainnya, seperti: Insekta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Nematoda, Mollusca, dan bentuk pradewasa dari beberapa binatang lainnya seperti kaki seribu dan kalajengking (mengacu pada Suhardjono & Adisoemarto, 1997).

**Metode acak penuh:** titik pengambilan contoh ditetapkan secara acak hanya berdasarkan pertimbangan aksesibilitas, kemudahan pengamatan pada areal yang relatif homogen, dengan tidak mengabaikan kaidah kaidah penelitian.

**Metode mekanik:** semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah dan pembuatan bangunan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi, dan meningkatkan kemampuan penggunaan tanah.

**Metode stratified:** areal pengamatan dibagi dalam strata-strata. Tiap strata ditetapkan jumlah titik pengambilan contoh yang akan diamati. Metode ini digunakan apabila bidang pengamatan dianggap heterogen, sehingga perlu pembagian strata-strata dengan pertimbangan setiap strata mewakili kondisi agro ekosistem masing-masing.

**Metode transek atau diagonal:** dimana titik-titik pengambilan contoh pada suatu areal ditetapkan secara garis lurus dengan jarak antara titik-titik telah ditetapkan pula; digunakan pada areal pengamatan yang relatif luas dan mempunyai agroekosistem relatif homogen.

**Metode vegetatif:** metode yang menggunakan tanaman dan tumbuhan untuk mengurangi jumlah dan kecepatan aliran permukaan tanah.

**Metode zigzag:** menempatkan titik-titik pengambilan contoh tanah secara zigzag pada kondisi areal pengamatan sesuai keadaan lapangan.

**Mikrofauna:** kelompok binatang yang berukuran tubuh  $<0,15$  mm, seperti: Protozoa dan stadium pradewasa beberapa kelompok lain misalnya Nematoda (mengacu pada Suhardjono & Adisoemarto, 1997).

**Mikrohabitat:** bagian dari habitat yang merupakan lingkungan yang kondisinya paling cocok dan paling akrab berhubungan dengan makhluk hidup.

**Mulsa:** material penutup tanaman budidaya yang dimaksudkan untuk menjaga kelembaban tanah serta menekan pertumbuhan gulma dan penyakit sehingga membuat tanaman tumbuh dengan baik. Mulsa dapat bersifat permanen seperti serpihan kayu, atau sementara seperti mulsa plastik.

**Pedologi:** ilmu yang mempelajari proses pembentukan tanah dan faktor. Pembentuknya, klasifikasi tanah, survey, dan cara pengamatan di lapangan

**Perkolasi:** gerakan aliran air di dalam tanah (dari *zone of aeration* ke *zone of saturation*).

**Pertanian organik:** sistem budi daya pertanian yang mengandalkan bahan-bahan alami tanpa menggunakan bahan kimia sintetis.

**Piramida urutan:** binatang yang lebih kecil memerlukan organisme yang sedikit lebih besar dalam satu rantai makanan karena hilangnya beberapa nutrien dan energi dari rantai makanan.

**Rantai makanan:** urutan atau rangkaian dimana nutrien dan energi berpindah dari tanaman ke herbivora (pemakan tumbuhan) ke berbagai pemangsa sampai ke dekomposer atau pengurai.

**Relung:** setiap jenis mempunyai kemampuan untuk beradaptasi terhadap suatu kondisi lingkungan tertentu dalam satu komunitas.

**Porositas:** perbandingan antara volume pori dan volume tanah total.

**Profil tanah:** penampang vertikal dari tanah yang menunjukkan susunan horison tanah.

**Syneкологи:** materi bahasan dalam kajian atau penelitiannya ialah komunitas dengan berbagai interaksi antar populasi yang terjadi dalam komunitas tersebut.

**Solum:** bagian kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik.

**Struktur tanah:** penyusunan partikel-partikel tanah primer seperti pasir, debu dan liat membentuk agregat-agregat, yang satu agregat dengan lainnya dibatasi oleh bidang belah alami yang lemah.

**Tanah:** material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral padat yang terikat secara kimia satu sama lain dengan ruang-ruang kosong antar butir yang diisi zat cair dan gas.

**Tekstur tanah:** perbandingan relatif dari partikel-partikel atau fraksi-fraksi primer tanah, yaitu pasir, debu, liat, dan lempung atau dilapangan dikenal dengan rasa kekasaran atau kehalusan dari tanah.

**Wanatani (*Agroforestry*):** sistem penggunaan lahan yang terutama memadukan antara tanaman pangan berumur pendek dengan tanaman pohon, semak atau rumput makanan ternak.

**Warna tanah:** campuran komponen lain yang terjadi karena mempengaruhi berbagai faktor atau persenyawaan tunggal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# INDEKS

## A

Abiotik, 3, 6, 8, 13, 19, 23, 26, 28,  
57, 59, 79, 94  
Acarina, 36, 41, 42, 93,  
Aerasi, 26, 27, 28, 98, 51, 52, 53, 64,  
109, 119  
Agroforestry 121, 126  
Anecic, 38  
Autekologi, 7  
Awetan, 96, 97, 102

## B

Bahan organik, 5, 6, 9, 22, 23, 24,  
25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 38,  
39, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 50,  
51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 64,  
66, 68, 90, 94, 109, 118, 114, 120,  
125, 126, 128, 129, 130, 132, 133,  
134, 136  
Barlese Tullgren, 88, 89  
Behavior, 7  
Bioindikator, 2, 5, 7, 59, 60, 61, 62,  
65, 66, 67, 68  
Biodiversitas, 6, 52, 59, 60, 63, 64,  
65, 66, 117  
Biologi, 1, 2, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14,  
15, 17, 27, 31, 33, 40, 52, 56, 58,

61, 64, 65, 67, 68, 73, 75, 76, 79,  
93, 118

Bioturbasi, 25, 56, 64  
Bulk density, 27, 28, 52

## C

Cacing tanah, 7, 32, 35, 36, 37, 41,  
46, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 56, 68,  
91, 109, 110, 111  
Casting, 48, 52, 55  
Catchment, 55  
Centipede, 36, 39, 46  
CHNS Analyser, 33  
Coleoptera, 39, 43, 44, 45, 47, 100  
Collembola, 2, 7, 27, 36, 37, 39, 41,  
42, 43, 46, 60, 66, 67, 86, 88, 94,  
95, 98, 99, 112  
C-organik, 3, 26, 27, 28, 32, 33, 56,  
67, 94, 95  
Creative Thingking, 4  
Critical Thingking, 4

## D

Daerah Aliran Sungai, 5, 7, 83,  
Diferential Thermal Analysis, 33  
Distribusi, 7, 8, 10, 13, 15, 41, 44,

64, 73, 75, 80, 81, 82, 103, 105,  
107, 111, 112, 113

Drainase, 51, 52, 62, 63

## E

Ekologi, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,  
12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 26,  
64, 72, 95, 117, 119, 134, 135, 136

Ekosistem, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12,  
13, 15, 16, 26, 28, 29, 40, 41, 44,  
51, 52, 55, 57, 58, 59, 60, 62, 63,  
64, 65, 66, 67, 68, 74, 75, 101,  
117, 118, 127, 128, 133

Endogeic, 38

Epigeic, 38

Ernst Haeckel, 9, 14

## F

Fauna, 1, 2, 25, 39, 66, 75, 76, 87,  
89, 91, 92, 93, 128

Fiksasi, 98

Fragmentasi, 38, 52

Fungal feeder, 69

## G

Garis Transek, 85, 86

Geografi, 7, 12, 15

Geokimia, 12

Geologis, 5

Global Positioning System, 84, 101

Gravimetrik, 34, 94

## H

Habitat, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 17, 19,

20, 21, 22, 23, 24, 28, 35, 38, 41,  
44, 46, 47, 49, 52, 57, 58, 59, 64,  
66, 67, 68, 71, 76, 77, 79, 83, 85,  
86, 88, 94, 95, 101, 106, 113, 121,  
132, 135

Hand Sorting, 92

Heterotrof, 23, 25, 40, 53

Hidrologi, 33, 55

High order thinking skills, 4

Hortikultura, 121

Hubungan timbal balik, 10, 11, 13,  
32, 53

Hulu, 1, 67, 83, 86, 94

Hymenoptera, 46, 47, 100

## I

Indeks Keanekaragaman, 74, 95

Indeks Morisita, 80

Indikator Lingkungan, 57, 58

Indikat Orekologis, 57, 58, 60

Indikator Keanekaragaman Hayati,  
57, 58

## K

Kadar air tanah, 3, 34, 56, 67, 68,  
94, 95, 105, 112, 114

Kelembaban tanah, 33, 34, 132

Kelimpahan relatif, 64, 72, 75, 76,  
77, 95

Kemerataan, 67, 75, 76, 80, 95

Kepadatan relatif, 76, 104, 110

Konservasi tanah, 117, 118, 119, 121,  
122, 123, 125, 127, 130, 132, 133

Kontur, 119, 124, 130, 132

## L

Larutan Bouin, 98

Larutan Fiksasi, 98

Laruta Hoyer, 93

Larutan Viets, 98

LEISA, 133

Lereng, 119, 129, 130

LISA, 133

## M

Makrofauna, 7, 32, 35, 36, 37, 40, 41, 44, 52, 54, 56, 64, 65, 90, 93, 117

Makrohabitat, 21, 22

Mesofauna, 2, 35, 37, 40, 52, 54, 55, 64, 66, 83, 93

Metakognitif, 4

Metode acak penuh, 86

Metode Neuman, 88

Metode stratified, 85

Metode transek, 85

Metode zigzag, 86

Microphytic-feeders, 39

Mikroba, 1, 2, 6, 25, 26, 36, 41, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 62, 66

Mikrofauna, 35, 36, 40, 52, 54, 64, 67, 92, 93

Mikrohabitat, 4, 7, 21, 22, 52, 67

Miscellaneous-feeders, 39

Mites, 40, 41, 62

Mulsa, 130, 131, 132

## N

Nematoda, 35, 36, 39, 41, 62, 66, 68, 69, 96, 106, 107, 108, 109

Nilai Chi-square, 81

## O

Odonata, 99

Orthoptera, 59, 99

Otolisis, 98

## P

Pedologi, 5

Penanaman sistem strip, 130, 131

Pengawetan, 96, 97, 98, 101, 102, 118

Penyiangan parsial, 133

Periodic, 37

Permanent, 37

Pertanaman campuran, 125, 126

Pertanaman sela, 123

Pertanaman tradisional, 125

Pertanian organik, 133, 134, 135, 136

Phytophagus, 39, 47

Pitfall Trap, 89

Plotless, 80

Pola Distribusi, 7, 80, 81, 105, 111, 112, 113

Protozoa, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 66, 136

## R

Rantai makanan, 14, 16,

Rayap, 39, 41, 46, 57

Relung, 4, 7, 8, 16, 17, 20

Rotasi tanaman, 118, 131, 135

## S

Scanning Electron Microscope, 84, 92

Shannon-Wiener, 74, 75, 95

Sifat biologi tanah, 31, 56

Sifat fisik tanah, 25, 31, 38, 55, 56, 119

Sifat kimia tanah, 25, 27, 28, 30, 55

Siklus hara, 64, 136

Silvipastura, 122, 127

Simpson, 80

Soil tester, 84, 94

Sorensen, 78, 79

Sortasi, 49, 91, 92

Spesimen, 49, 92, 93, 95, 96, 97, 101, 102, 103

Struktur komunitas, 1, 3, 4, 7, 60, 66, 67, 71, 72, 73, 78, 83, 87

Suhu tanah, 3, 26, 29, 94, 113

Synekologi, 7

## T

Talun Hutan Rakyat, 122, 125

Tanaman pelindung, 122, 126

Tanaman semusim, 123, 124, 125, 127, 130

Tanaman tahunan, 108, 120, 121, 123, 124, 125, 127

Temporary resident, 37

Topografi, 5, 10, 29

Top Soil, 23, 34, 53, 54, 56

Transient, 37

## U

Urban farming, 5, 127, 128, 129

## V

Vegetasi, 19, 21, 29, 32, 62, 109, 118, 119, 120, 131, 132, 133

## W

Wanatani, 121, 122, 127



## BIOGRAFI PENULIS



**HUSAMAH**, dilahirkan pada tanggal 18 Oktober 1985 di Pulau Pagerungan Kecil. Ia menamatkan pendidikan di SDN Pagerungan Kecil III Sumenep, SMPN 2 Sapeken Sumenep, dan SMAN 1 Banyuwangi. Gelar sarjana diperoleh tahun 2008 dari Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang. Pendidikan S2 diselesaikan tahun 2014 di Pendidikan

Biologi Pascasarjana Universitas Negeri Malang.

Ia pernah menjadi Juara I Mahasiswa Berprestasi UMM dan Kopertis VII Jawa Timur tahun 2008. Ia juga beberapa kali menjuarai lomba penulisan ilmiah kategori mahasiswa dan umum, baik tingkat lokal, regional, maupun nasional. Artikelnya telah dimuat di jurnal ilmiah nasional-internasional (SCOPUS, Terakreditasi, DOAJ, dan nasional ber-ISSN), prosiding seminar nasional-internasional, dan media massa lokal-nasional.

Saat ini ia adalah dosen tetap di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM. Ia diamanahi sebagai Kepala Pusat Studi Lingkungan dan Kependudukan UMM (2015-2017), Managing Editor JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia) (2015-2018), dan Sekretaris Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM (2017-2021).

Sembari mengajar, meneliti, mengabdikan, mengelola jurnal, dan membimbing mahasiswa, ia telah berhasil menerbitkan puluhan buku yang disebutnya sebagai "*karya-karya kecil untuk menginspirasi Indonesia*" baik sebagai penulis tunggal, penulis utama, kontributor, maupun editor. Buku yang telah diterbitkan antara lain (1) *Cerdas Menjadi Juara Karya Ilmiah* (Pinus Group, 2010), (2) *Teacherpreneur, Cara Cerdas Menjadi Guru Banyak Penghasilan* (Pinus Group, 2011), (3) *KIR Itu Selezat Ice Cream* (Pinus Group, 2011), (4) *Kamus Penyakit pada Manusia* (ANDI, 2012), (5) *Guru Profesional Perspektif Siswa Indonesia* (Aditya Media, 2012), (6) *Pembelajaran*

*Luar Kelas/Outdoor Learning* (Prestasi Pustaka Raya, 2013), (7) *Desain Pembelajaran Berbasis Pencapaian Kompetensi* (Prestasi Pustaka Raya, 2013), (8) *Science for Grade I* (Aditya Media, 2013), (9) *Pembelajaran Bauran: Blended Learning* (Prestasi Pustaka Raya, 2014), (10) *Kamus Super Biologi* (Prestasi Pustaka Raya, 2014), (11) *Talau Ngaluppanan, Renungan Generasi Muda Kepulauan* (Insan Cendekia, 2014); (12) *Modul Panduan Guru: Pengembangan Model Pendidikan Karakter pada Pembelajaran MIPA melalui Konsep Integratif di SMP Muhammadiyah Se-Malang Raya* (UMM Press & FKIP UMM, 2014); (13) buku dwibahasa *Motif Batik Khas Jawa Timur* (LK-UMM Press-Dekranasda Jatim, 2014). (14) *A to Z, Kamus Super Psikologi* (ANDI, 2015), (15) *Pencerahan Pendidikan Masa Depan* (FKIP UMM & UMM Press, 2015), (16) *Pengantar Pendidikan* (UMM Press, 2015), (17) *Belajar dan Pembelajaran* (UMM Press, 2016), (18) *Pemahaman Lingkungan Secara Holistik* (UMM Press & PSLK UMM, 2016), (19) *Go Green & Clean School Berbasis Diet Sampah* (UMM Press & PSLK UMM, 2016), (20) *Mengurai Sengkarut Bencana Lingkungan (Refleksi Jurnalisme Lingkungan & Deep Ecology di Indonesia)* (UMM Press & PSLK UMM, 2017), (21) *Menyelamatkan Masa Depan Generasi Emas Bangsa (Catatan Kritis dan Sharing Pengalaman Guru Indonesia)* (UMM Press & PSLK UMM, 2017), (22) *Sumber Belajar Penunjang Kompetensi Profesional Mata Pelajaran Biologi* (MNC Publisher, 2017), (23) *Katalog Tumbuhan di Lingkungan SMP Negeri Malang* (Penerbit Kota Tua, 2018), (24) *Etika Lingkungan (Teori dan Praktik Pembelajarannya)* (Proses terbit di UMM Press, 2018), dan (25) buku *Ekologi Hewan Tanah* yang ada di tangan Anda ini. Bersama tim, ia berhasil menyusun *Modul Ekologi Tumbuhan* (Hibah DITTENDIK DIKTI 2011-2012), *Petunjuk Praktikum Ekologi Tumbuhan*, *Petunjuk Praktikum Ekologi Hewan*, dan *Petunjuk Praktikum Ekologi* (Lab. Biologi UMM).



**ABDULKADIR RAHARDJANTO**, lahir di Banyuwangi pada tanggal 2 Desember 1963. Jenjang S1 Pendidikan Biologi di tamatkan di IKIP Negeri Yogyakarta (sekarang menjadi UNY) tahun 1990, S2 Ilmu Lingkungan di Institut Teknologi Bandung tahun 1997, dan S3 Ilmu Lingkungan dari Universitas Indonesia tahun 2014.

Aktivitas penelitian, pengabdian pada masyarakat, dan publikasi aktif dilaksanakan di tengah-tengah tugasnya sebagai dosen mata kuliah Ekologi dan Pengetahuan Lingkungan di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM. Berbagai buku telah ia hasilkan, beberapa di antaranya adalah

*Model Komunikasi Lingkungan Berperspektif Gender dalam Menyelesaikan Konflik Lingkungan di Perkotaan (Peran aktivis Perempuan dalam Pengelolaan Konflik Lingkungan Secara Berkelanjutan)* (Lokus Tiara Wacana Group, 2014), *Modul Ekologi Tumbuhan* (Hibah DITENDIK DIKTI, 2011-2012), *Petunjuk Praktikum Ekologi Tumbuhan* (Lab. Biologi UMM), dan *Ekologi* (UMM, 2012).



**ATOK MIFTACHUL HUDHA**, lahir di Malang pada tanggal 15 September 1964. Jenjang pendidikan ditempuh mulai dari SDN Karangploso 1, SMP Negeri 8 Malang, dan Madrasah Aliyah Negeri 1 Malang. Gelar sarjana diperoleh di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM tahun 1989, dan gelar Magister Pendidikan Biologi diperoleh di IKIP Malang (sekarang menjadi UM) tahun 1994. Saat ini tengah menyelesaikan pendidikan Doktor di Pascasarjana Universitas Negeri Malang.

Aktivitas pengabdian pada masyarakat, penelitian, dan publikasi aktif dilaksanakan di tengah-tengah tugasnya sebagai dosen mata kuliah Zoologi di Prodi Pendidikan Biologi FKIP UMM, Tim Kerja PSLK UMM, dan Editor-in-Chief JPBI (*Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*). Berbagai buku telah ia hasilkan, baik sebagai penulis tunggal, penulis utama, editor, dan contributor. Beberapa diantaranya adalah *Menjadi Pribadi Inovatif, Kreatif, dan Mandiri yang Berspiritualitas* (Aditya Media, 2013); *Membentuk Pribadi Yang Unggul Membangun Peradaban Utama* (Aditya Media, 2013); *Modul Panduan Guru: Pengembangan Model Pendidikan Karakter pada Pembelajaran MIPA melalui Konsep Integratif di SMP Muhammadiyah Se-Malang Raya* (UMM Press & FKIP UMM, 2014); *Membentuk Pribadi dan Pemimpin Unggul, Membangun Peradaban Utama* (Aditya Media, 2015); *Pemahaman Lingkungan Secara Holistik* (UMM Press & PSLK UMM, 2016); *Mengurai Sengkarut Bencana Lingkungan (Refleksi Jurnalisme Lingkungan & Deep Ecology di Indonesia)* (UMM Press & PSLK UMM, 2017); *Katalog Tumbuhan di Lingkungan SMP Negeri Malang* (Penerbit Kota Tua, 2018); *Etika Lingkungan (Teori dan Praktik Pembelajarannya)* (Proses terbit di UMM Press, 2018); dan buku *Ekologi Hewan Tanah* yang ada di tangan Anda ini. Beberapa modul dan panduan praktikum dalam bidang Zoologi (Invertebrata dan Vertebrata) juga telah ditulis, Artikel ilmiahnya dipublikasi dalam berbagai jurnal internasional, jurnal nasional, dan prosiding. Sementara itu, karya opininya dibidang lingkungan dan kependudukan terus menghiasi halaman berbagai media massa lokal dan nasional.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)